

Universitat de Lleida

Grado en Fisioterapia

Influencia de los estiramientos musculares previos y posteriores al ejercicio físico en la prevención de lesiones musculares

Por: Oriol Bonell Monsonís

Facultat d'Infermeria

Tutor/a: Patrick Pons Camps

Trabajo Final de Grado

Revisión narrativa

Curso 2013-2014

26 de mayo de 2014

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
1. Músculo esquelético.....	6
1.1 Anatomía del músculo esquelético.....	6
1.2 Fisiología de la contracción muscular.....	9
1.3 Epidemiología de las lesiones musculares.....	11
2. Estiramientos musculares.....	14
2.1 Definición y clasificación de los estiramientos.....	14
2.2 Fisiología del estiramiento.....	16
2.3 Efectividad de los estiramientos respecto la prevención de lesiones musculares.....	17
3. Prevención en el ámbito deportivo.....	18
3.1 Definición de prevención.....	18
3.2 Definición de mecanismo lesional.....	18
3.3 Origen multifactorial de las lesiones deportivas.....	18
3.4 Definición de flexibilidad y su relación con la prevención.....	19
3.5 Definición de calentamiento.....	19
3.6 Definición de vuelta a la calma.....	20
3.7 Estado actual de la prevención de lesiones musculares.....	20
3.8 Rol de la Fisioterapia en la prevención de lesiones musculares.....	20
4. Justificación del tema.....	22
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	23
1. Objetivos generales.....	23
2. Objetivos específicos.....	23
METODOLOGÍA.....	24
1. Estrategia de búsqueda e identificación de los estudios.....	24
2. Criterios de selección de los estudios.....	24

3. Evaluación cualitativa de la metodología.....	24
4. Síntesis de la evidencia encontrada.....	25
RESULTADOS.....	27
1. Características y calidad de los estudios seleccionados.....	27
2. Efectos de los estiramientos.....	27
2.1 Realizados previamente al ejercicio.....	27
2.2 Realizados posteriormente al ejercicio.....	30
2.3 Realizados previa y posteriormente al ejercicio.....	31
2.4 Realizados durante y posteriormente al ejercicio.....	32
DISCUSIÓN.....	34
1. Análisis e interpretación de los resultados.....	34
2. Efectos y fisiología de de los estiramientos.....	36
2.1 Influencia en las capacidades físicas	36
2.2 Modificaciones mecánicas y sensitivas causadas por los estiramientos.....	36
3. Solución al problema inicial.....	40
3.1 Estiramientos musculares realizados previamente al esfuerzo	40
3.2 Estiramientos musculares realizados posteriormente al esfuerzo.....	42
CONCLUSIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	52

RESUMEN

Pregunta de revisión: ¿Son los estiramientos musculares una herramienta indicada para la prevención de lesiones musculares en todo tipo de población, realizados previa y/o posteriormente al ejercicio físico?

Objetivo: Revisar los efectos de las distintas modalidades de estiramiento en la realización previa y/o posterior al ejercicio físico como herramienta para la prevención de lesiones musculares.

Metodología: Se han obtenido 12 estudios de interés (de 1995 a marzo 2014) por medio de una búsqueda electrónica y de una exploración del listado de referencias de los artículos seleccionados y siguiendo los criterios de inclusión y exclusión determinados. Se evalúan de manera cualitativa los estudios incluidos con una lista de verificación específica y validada.

Resultados: Los estiramientos realizados previamente al esfuerzo muestran resultados variables y su realización a posteriori son inefectivos para la prevención de lesiones musculares. Sin embargo, su práctica tanto previa como posteriormente al ejercicio parece ser efectiva.

Conclusión: Esta revisión bibliográfica de la literatura científica actual determina una falta de consenso para la prescripción de estiramientos musculares con el objetivo de prevenir lesiones musculares, tanto en su realización previa como posterior al ejercicio físico. Se propone una clasificación de las diferentes modalidades de estiramiento en función de su fisiología y biomecánica en su realización previa y posterior al esfuerzo. Son necesarias futuras investigaciones al respecto para conseguir un consenso en este campo.

Palabras clave: ejercicio, estiramiento, lesión, músculo, prevención.

ABSTRACT

Research question: Is muscle stretching, pre- and/or post-exercise, an indicated intervention to prevent muscle injuries in any kind of population?

Aim: To review the effects of different stretching modalities before and after physical activity as an intervention to prevent muscle injuries.

Methods: 12 studies of interest have been selected (from 1995 to March 2014) through an electronic research and an exploration of reference lists. The included articles followed the inclusion and exclusion criteria. The included studies are evaluated in a qualitative manner with a specific and validated checklist.

Results: Stretching before exercise shows different results. Stretching after exercise is ineffective in muscle injury prevention. However, stretching before and after physical activity seems to be effective for this purpose.

Conclusion: This review of the current literature establishes a lack of consensus in muscle stretching prescription, pre- and post-exercise, in order to prevent muscle injuries. A classification of different stretching modalities, pre- and post-exercise, based on their physiology and biomechanics is proposed. Future research is necessary in this area.

Key words: exercise, stretching, injury, muscle, prevention.

INTRODUCCIÓN

1. MÚSCULO ESQUELÉTICO

1.1. Anatomía del músculo esquelético

1.1.1. Generalidades: fibra muscular y tejido conectivo

El músculo esquelético está compuesto por fibras musculares (o miofibras) y tejido conectivo. Las miofibras están inervadas por los respectivos nervios y se encargan de la función contráctil del músculo, en tanto que el tejido conectivo proporciona un entramado que une las células musculares y agrupa los nervios y capilares junto a la estructura muscular¹. La musculatura esquelética supone aproximadamente el 40% del peso corporal total distribuyéndose por todo el cuerpo para insertarse en los huesos permitiendo, a través de la producción de fuerzas, el movimiento corporal^{2,3}.

Las fibras musculares individuales están unidas por tres niveles de tejido conectivo intramuscular: endomisio, perimisio y epimisio. En primer lugar, el endomisio (o membrana basal) es la capa más profunda y el componente básico de este armazón que rodea cada una de las miofibras. Las miofibras se componen por multitud de miofibrillas. A continuación, el perimisio envuelve los fascículos (una estructura mayor compuesta de multitud de fibras musculares). En último lugar se halla el epimisio, una vaina más densa y fuerte que rodea y protege todo el conjunto del vientre muscular, compuesto éste de fascículos^{1,2,4-7}. De esta manera, varios sarcómeros forman una miofibrilla, múltiples miofibrillas componen una fibra muscular, varias miofibras constituyen un fascículo muscular y todo el conjunto forma el músculo (Figura 1)^{2,5}.

Por lo tanto, el tejido conectivo crea una red de soporte para las miofibras en forma de esqueleto (deformable longitudinal como transversalmente) con el objetivo de unificar las contracciones de las fibras individuales. Las miofibras se unen en ambos extremos del músculo al tejido conectivo de la unión miotendinosa y de esta manera, por medio del tejido conectivo también se enlaza al tendón^{1,2,6}.

1.1.2. Modelo mecánico de Hill

El modelo mecánico de Hill representa la heterogenicidad del músculo esquelético debido a la existencia de elementos contráctiles y no contráctiles. Se pueden clasificar según su capacidad de extensibilidad (de menor a mayor): elementos contráctiles (CC), componente elástico en paralelo (CEP) y componente elástico en serie (CES), siendo el músculo el CC; el perimisio, endomisio, epimisio y sarcolema el CEP y los tendones el CES (Figura 2; Figura 3)^{2,6,7}.

La extensibilidad pasiva es la capacidad de un músculo esquelético para alargarse sin la participación activa de la musculatura y se define como la distancia entre la longitud muscular inicial y la longitud máxima. Está influenciada por el tamaño y longitud de las fibras musculares y por la cantidad de tejido conectivo⁸.

1.1.3.Unión miotendinosa (UMT)

La unión de las fibras musculares al tendón debe ser capaz de soportar fuerzas de alta tensión; por ello cada miofibrila contiene cadenas específicas moleculares de integrinas y de un complejo formado por distrofina y glicoproteínas. Estos complejos de proteínas conectan, a través del sarcolema, el componente contráctil (miofilamentos) a la matriz extracelular^{1,3,5,6,7,9}. En un músculo sano, en la unión miotendinosa se reúne la mayor cantidad de integrinas para poder soportar cargas tensiles de alta intensidad¹. El sarcolema es una membrana laxa de tejido conjuntivo que cubre las miofibrillas, situándose en un plano más profundo que el endomisio^{3,5,6,7}.

La UMT es una zona de transición entre dos tejidos (contráctil y no contráctil) con características mecánicas distintas que tiene que soportar altas cargas tensiles, presentando en consecuencia, sarcómeros más rígidos en comparación a la zona central del músculo en respuesta a la aplicación de una fuerza determinada^{1,6}. Es una zona susceptible de lesión por un estiramiento excesivo durante una contracción, en este caso, excéntrica^{3,6,10}.

1.1.4.Ultraestructura muscular

El sarcómero representa la unidad funcional del músculo y contiene filamentos de actina y miosina (filamento fino y grueso respectivamente), esto es, una disposición de proteínas que interaccionan entre ellas de manera que los filamentos de actina deslizan sobre los de miosina, deformando la estructura sarcomeral longitudinalmente, para producir la contracción muscular^{2,3,6}. Además, con el fin de mantener su integridad contiene ciertas proteínas como la titina (filamentos elásticos de soporte para la miosina extendiéndose desde la línea Z hasta la línea M), la desmina (se relaciona con los costámeros y los filamentos intermedios) y la nebulina (filamentos inelásticos relacionados con la actina que se insertan en la línea Z)^{2,6,11}. Las miofibrillas muestran una disposición en serie de sarcómeros⁶.

La miosina se localiza en el centro del sarcómero distinguiendo la banda A (anisotrópica), la cual representa la longitud total de los filamentos gruesos. Los filamentos de miosina y actina se solapan en los extremos de la banda A^{2,7}. A su vez, la zona H es la zona central de una banda A (ocupada por filamentos gruesos) y la línea M corresponde a la región de inserción de los filamentos de miosina y divide la banda A en dos partes iguales^{2,3,5,7}.

Los filamentos de actina están unidos en cada extremo del sarcómero por la línea Z, estructura proteica que une estos filamentos con los sarcómeros adyacentes de manera que delimita los márgenes de cada sarcómero^{2,7}. La banda I (isotrópica) corresponde a la zona ocupada por los filamentos delgados y en consecuencia, la línea Z se sitúa en la mitad de una banda I. Por lo tanto, la estructura sarcomeral es la región comprendida entre dos líneas Z (Figura 4)^{2,3,5,7}.

1.1.5.Unidad motora

La unidad motora constituye una unidad estructural y funcional formada por una motoneurona alfa y las miofibras esqueléticas que inerva. La motoneurona alfa se dirige desde el asta anterior de la médula espinal (y núcleos motores de los pares craneales) hasta la placa motora, zona donde se produce sinapsis entre la motoneurona alfa y las fibras musculares. El axón de la motoneurona alfa se ramifica para inervar varias miofibras y cada una de éstas está inervada por una única motoneurona. Existen tres tipos de unidades motoras en función de las propiedades mecánicas de la contracción que realizan (Figura 5): a) tipo I (lentas y resistentes a la fatiga); b) tipo IIa (rápidas y resistentes a la fatiga); c) tipo IIb (rápidas y fatigables)⁷.

1.1.6.Huso neuromuscular y órgano tendinoso de Golgi

Los husos neuromusculares (HNM) se localizan en el perimisio y están constituidos por fibras intrafusales, situadas en un espacio capsular de tejido conjuntivo y en disposición paralela respecto a las fibras extrafusales. Por ello, el HNM se dispone dentro del espacio existente entre las fibras extrafusales. Además, las fibras intrafusales pueden ser nucleares en bolsa o nucleares en cadena, en función de cómo se disponen sus núcleos, pudiendo ser más sensibles a los cambios de longitud o más sensibles a la velocidad de estos cambios^{3,7,12}.

Los HNM están inervados tanto sensitiva como mecánicamente. A nivel motor está inervado por las motoneuronas gamma (se localizan en los extremos contráctiles de las fibras intrafusales), mientras que a nivel sensitivo, está inervado por una única terminación sensitiva principal (fibras Ia) y una o varias terminaciones secundarias (fibras II)^{7,12}.

La terminación Ia es un mecanorreceptor sensible al estiramiento y a la velocidad con la que éste se produce, debido a su localización en la zona central de todas las fibras del HNM, a su gran diámetro y su elevada velocidad de conducción nerviosa⁷.

Así pues, los HNM se encargan de detectar los cambios de longitud del músculo y la velocidad en la que se producen. Por ende, en un estiramiento muscular las fibras intrafusales se estiran y facilitan la activación de las terminaciones sensitivas Ia y II (Figura 6)^{3,7}.

Los órganos tendinosos de Golgi (OTG) se localizan en las fascias y tendones de la zona de inserción muscular (UMT) siguiendo una disposición en serie respecto a las fibras musculares y cada OTG está innervado por una terminación Ib (mecanorreceptor). Por ello, se encargan de detectar los cambios de tensión muscular, de manera que las terminaciones Ib se activan durante la contracción muscular (como consecuencia del estiramiento del tendón)^{3,7,12}.

1.1.7. Sarcoplasma y viscoelasticidad

El sarcoplasma es un líquido de características viscosas que envuelve y ofrece al músculo la capacidad de comportarse de manera viscoelástica ante acciones dinámicas^{6,12}. Por ello, el músculo exhibe un comportamiento viscoso que depende de la velocidad del estiramiento aplicado, y otro elástico que depende de la carga del estiramiento en cuestión⁸.

Esta propiedad se relaciona con la tensión pasiva o resistencia interna al estiramiento, siendo directamente proporcional a la velocidad de los cambios de longitud del tejido y inversamente proporcional a la temperatura. Pues, la capacidad viscoelástica es mayor a velocidades lentas y altas temperaturas⁶.

1.1.8. Tipos de fibras musculares

Existen tres tipos de fibras musculares (Tabla 1) que se diferencian por sus características microscópicas (estructurales, ultraestructurales y moleculares), metabólicas y funcionales (o contráctiles): a) tipo I (oxidativas de contracción lenta o rojas); b) tipo IIA (glucolíticas-oxidativas de contracción rápida o intermedias); c) tipo IIB (glucolíticas de contracción rápida o blancas)^{2,3,7}.

1.2. Fisiología de la contracción muscular

1.2.1. Deslizamiento de los filamentos actina-miosina

La contracción muscular es un proceso que permite generar fuerza para mover o resistir una carga. Se basa en la teoría del deslizamiento de los filamentos y se caracteriza por el deslizamiento de los filamentos de actina sobre los filamentos de miosina de manera que el sarcómero se acorta con la contracción y por ende, la banda I y la zona H se acortan y la banda A permanece constante (Figura 7). Para que se produzca este deslizamiento entre filamentos es necesaria la presencia de calcio

(activador intracelular de la contracción que libera los puentes de unión actina-miosina) y del nucleótido ATP (libera energía hidrolizándose)⁷.

1.2.2. Control del sistema nervioso

Para que se desarrolle la contracción muscular voluntaria es necesaria la participación de la fibra muscular y del sistema nervioso, de modo que permite la acción del mecanismo excitación-contracción. Se genera un potencial de acción que se transmite por el axón de la motoneurona alfa desde la médula espinal hasta la placa motora, liberando acetilcolina (ACh) en el espacio entre el botón sináptico y el sarcolema. Se activan los receptores para ACh que provocan la apertura de los canales iónicos y a su vez, la entrada al interior de la fibra muscular de sodio (Na^+). Esto provoca un nuevo potencial de acción que provoca la liberación de iones calcio (Ca^{2+}). Como se ha comentado en anterioridad, la liberación de Ca^{2+} libera los puentes de unión actina-miosina, y conjuntamente con presencia de ATP, tiene lugar la contracción muscular⁷.

1.2.3. Tipos de contracciones musculares

Los músculos pueden contraerse concéntricamente, excéntricamente o isométricamente dependiendo de la relación entre la tensión muscular y la resistencia a ser vencida. Pues, la contracción es concéntrica cuando la fuerza es mayor que la carga externa y las fibras se acortan. Si la fuerza desarrollada es igual a la carga o si no es posible movilizar la fuerza externa, la longitud muscular es constante y se considera una contracción isométrica. La contracción es excéntrica el músculo se estira durante la contracción debido a que la fuerza desarrollada por el músculo es menor que la carga aplicada. Las contracciones concéntricas y excéntricas implican trabajo dinámico, en el cual el músculo mueve una articulación o controla su movimiento; mientras que la contracción isométrica radica en un trabajo estático (Figura 8)^{2,7}.

1.2.4. Reflejo miotático

El reflejo miotático o de estiramiento es un reflejo monosináptico mediado por la fibras Ia de los husos neuromusculares. Al producirse un estiramiento muscular, se estimulan las fibras Ia y éstas producen la activación de la motoneurona alfa que produce la contracción muscular. El estiramiento facilita y activa las motoneuronas alfa de los músculos sinergistas a través de proyecciones monosinápticas. Asimismo, provoca la inhibición de las motoneuronas alfa de los músculos antagonistas por medio de una interneurona inhibitoria (proyección disináptica) facilitando el mecanismo de inhibición recíproca. El reflejo miotático es la base del tono muscular y controla la longitud del músculo (Figura 9)^{7,14}.

1.2.5. Reflejo miotático inverso

El reflejo miotático inverso (o inhibición autógena) está mediado por las fibras Ib de los órganos tendinosos de Golgi. Cuando tiene lugar un estiramiento muscular, se estimulan las fibras Ib y se inhibe la motoneurona alfa del músculo agonista y sinergistas a través una interneurona inhibidora por medio de proyecciones disinápticas, que finalmente produce la relajación o distensión muscular agonista. Del mismo modo, provoca la activación de la musculatura antagonista mediante la excitación de las motoneuronas alfa correspondientes (proyecciones di o trisinápticas). La función del reflejo miotático inverso es la protección de lesiones ante tensiones elevadas mediante el control de la tensión muscular (Figura 10)^{7,14}.

1.2.6. Creatina quinasa en plasma (CQP)

La creatina quinasa en plasma es un indicador objetivo del daño muscular debido a su aumento de la concentración en sangre que aparece como consecuencia de la ruptura del sarcolema en alguna miofibras, predominantemente debido a contracciones musculares excéntricas que generan altas tensiones musculares. La actividad de la CQP se puede correlacionar con el nivel de DOMS⁷.

1.3. Epidemiología de las lesiones musculares

1.3.1. Definición de lesión muscular

Las lesiones que afectan al tejido muscular son las más frecuentes en el deporte con una incidencia de entre el 10 y el 60% de todas las lesiones deportivas^{1,3,10,15}, siendo más común en extremidades inferiores^{3,15}.

En el ámbito del deporte, el término lesión se define como un incidente que tiene lugar durante una competición o entrenamiento y supone que el deportista no pueda participar en la siguiente competición o sesión de entrenamiento¹⁶.

1.3.2. Mecanismo de lesión

Las lesiones musculares pueden ser causadas por un mecanismo de contusión, de estiramiento o de laceración^{1,10}.

Las lesiones por estiramiento tienen lugar en la unión miotendinosa (o cerca de ella) debido a que el músculo se ve sometido a una fuerza de tensión excesiva que produce, como consecuencia, un desgarro de las miofibras próximas a la UMT. Es decir, cuando el músculo se somete a una contracción

excéntrica, donde simultáneamente tiene lugar una contracción muscular en posición de estiramiento (Figura 11)^{1,3,10,15}.

Este tipo de lesión está asociada a acciones de no contrato como el salto o el sprint y mayoritariamente afecta a músculos superficiales bi-articulares o con una arquitectura muscular más compleja, tales como el recto femoral, el semitendinoso, los gastrocnemios o el aductor largo^{1,10,15}. Así pues, las lesiones por estiramiento suceden cuando la carga biomecánica es superior a la tolerancia muscular, pudiendo ser que la carga biomecánica sea demasiada alta para el músculo o que la tolerancia muscular se reduce ante una carga biomecánica determinada¹⁷.

La fatiga muscular se relaciona con mayor riesgo de lesión debido a que un nivel alto de fatigabilidad produce una disminución de la capacidad de absorber energía y de generar tensión en la contracción excéntrica^{3,10}.

En las contusiones la zona de lesión se sitúa en o adyacente a la zona del impacto y la profundidad de la lesión depende de la contracción o relajación muscular en el momento del impacto¹.

1.3.3. Clasificación de las lesiones musculares

Sin embargo, en el momento de definir una clasificación de las lesiones musculares se observa una falta de consenso debido a la existencia de varias clasificaciones basadas en diferentes criterios¹⁵.

Pues, se pueden clasificar las lesiones musculares según:

- a) La gravedad de la lesión en relación a la cantidad de tejido afectado y asociado a la pérdida funcional, diferenciado en grado I, II y III o en términos suave, moderado y severo (propuesta por O'Donoghue)^{1,15,16};
- b) La cantidad y en qué medida están dañados las fibras musculares y el tejido conectivo en una escala del I al IV (propuesta por Ryan)¹⁵;
- c) El mecanismo de producción^{3,6,18};
- d) La zona anatómica afectada, relacionada con lesiones de mecanismo indirecto y diferenciando lesión en la unión tendoperióstica, en la unión musculotendinosa o en la unión miofascial^{3,19}.

También se basan en criterios de imagen:

- e) Mediante ecografía clasificándose en tres grados (I-III) (propuesto por Takebayashi y corroborado por Peetrans)¹⁵;

- f) Por resonancia magnética diferenciando grado I, II y III (propuesta por Stoller) (Tabla 2; Tabla 3)¹⁵.

La clasificación basada en el mecanismo de producción de lesión puede ser extrínseco (causado por agente externo o contusión) e intrínseco (causado por sobre sollicitación o traumatismo indirecto) y tiene en cuenta tanto criterios histopatológicos como criterios por imagen (resonancia magnética). El traumatismo indirecto se puede clasificar desde un grado 0 a un grado III; considera como lesión (intrínseca y extrínseca) los términos: calambre, contractura, *delayed-onset muscular soreness* (DOMS), lesión aguda por estiramiento y contusión (Figura 12)^{3,6,18}.

El “*Delayed-onset muscle soreness*” (DOMS), comúnmente conocido como agujetas, está causado mayoritariamente por la práctica de ejercicio no acostumbrado con una gran participación de actividad excéntrica^{3,6,10,15,20,21}. Es un proceso de adaptación muscular en el que tiene lugar una respuesta inflamatoria aguda como respuesta al ejercicio, debido a una lesión microscópica de las miofibras afectando a la estructura sarcomeral (líneas Z), esto es componentes contráctiles y no contráctiles^{6,10,15,20}. En dicha fase inflamatoria tiene lugar un aumento de prostaglandinas E₂ (PGE₂), las cuales facilitan un estado de hiperalgesia mediante el incremento de sensibilidad de los nociceptores³. Sin embargo, en la literatura se describen hasta seis teorías para explicar el mecanismo del DOMS, siendo: ácido láctico, espasmo muscular, afectación del tejido conectivo, daño muscular, inflamación y una última relacionada con las enzimas y la respiración celular²¹. No es posible llegar a un consenso para establecer una única teoría, por lo que se resume el proceso con la combinación de todas las teorías. Así pues, el proceso se origina inicialmente con una alta carga tensil asociada al ejercicio excéntrico y afectación del tejido muscular y conectivo, seguido por una respuesta inflamatoria aguda (formación de edema e infiltración de células de la inflamación)²¹.

En situación de reposo se percibe dolor generalizado del músculo y el pico máximo de dolor es a las 48 horas después de la actividad. Se caracteriza por rigidez muscular, limitación funcional de las articulaciones proximales y dolor a la contracción isométrica^{6,10,15,20}.

Asimismo, diversos autores proponen clasificar las lesiones musculares según su localización, tipo de lesión, parte del cuerpo y mecanismo de lesión, indicando también si la lesión es recurrente (traumatismo o sobre uso)²².

Finalmente, en 2012 se reunieron una serie de expertos para llegar a un consenso respecto a la terminología y la clasificación de las lesiones musculares y establecieron una clasificación empírica basada en la amplia experiencia de los expertos y en su día a día con el manejo de las lesiones

musculares. La clasificación (*The Munich consensus statement*)¹⁵ diferencia la lesión muscular o trastorno indirecto (separa la lesión funcional y la estructural) de la lesión muscular directa (mecanismo de contusión o laceración) (Tabla 4; Tabla 5; Figura 13).

2. ESTIRAMIENTOS MUSCULARES

2.1. Definición y clasificación de los estiramientos

2.1.1. Definición de estiramiento

Es importante conocer la definición de *estiramiento*, puesto que el estiramiento es la intervención principal que se revisa en este trabajo, respecto a la prevención de las lesiones musculares. Así pues, se define como “*Acción y efecto de estirar o estirarse*”, definiéndose *estirar*: “*Desplegar o mover brazos o piernas para desentumecerlos*”²³. Técnicamente, los estiramientos son un conjunto de técnicas utilizadas con el objetivo de mejorar la amplitud de movimiento de una o varias articulaciones, solicitando estructuras musculoesqueléticas tanto mecánicas como sensitivas debido a una acción de tracción-alargamiento⁶.

Revisando la literatura científica, existe cierta variedad de tipos y clasificaciones de los distintos métodos de estiramiento debido a que se utilizan diferentes terminologías y se clasifican según autores^{6,9,13,24,25} y escuelas (principalmente la francesa y la anglosajona)^{6,9,13}, entre otros. Sin embargo, no todas las modalidades de estiramiento se llevan a cabo de la misma manera o buscan la misma finalidad, de ahí que se obtengan efectos diferentes y de esta manera, no se establece un consenso en la clasificación de los tipos de estiramientos⁶. Pues, determinar una clasificación basada en la fisiología de las diversas modalidades de estiramiento sería de utilidad para llegar a un consenso, siendo éste un objetivo secundario de este trabajo.

No obstante, a modo generalizado se categorizan los estiramientos en: estáticos, dinámicos, balísticos, activos, pasivos, tensión activa y de facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP)^{3,4,6,9,13,24-31}, de acuerdo con su modo de realización o teniendo en cuenta la participación o no de la musculatura²⁷.

2.1.2. Estiramiento estático

El estiramiento estático se realiza con una posición mantenida que produce con lentitud la elongación y el movimiento de los tejidos, incidiendo en las características mecánicas y sensitivas del músculo y del tendón en su conjunto, de modo que ayuda a aumentar la flexibilidad estática. Este tipo de estiramiento produce un reflejo de inhibición de la musculatura agonista y sinergista diana al estiramiento reduciendo la rigidez muscular. Además, esta técnica de estiramiento se diferencia en pasivo o activo en función de la participación activa o pasiva de la musculatura solicitada^{6,9,25-29,31,34}.

2.1.3. Estiramiento dinámico/balístico

Respecto a los estiramientos dinámicos y/o balísticos, existe cierta controversia debido a que por una parte se consideran sinónimos^{3,6,26,32} y por otra parte se consideran dos modalidades distintas de estiramiento^{9,27,31}. En resumen, la técnica de estiramiento dinámico se realiza a través la contracción de la musculatura antagonista permitiendo el estiramiento de la musculatura agonista mediante el proceso de inhibición recíproca, hecho que se traduce en un movimiento articular lento y controlado en todo el rango permitido^{9,27,29,31}.

Por otra parte, los estiramientos balísticos son movimientos rítmicos de rebote, lanzamientos o balanceos producidos por la musculatura agonista de manera excéntrica o bien por una fuerza externa, de tal manera que el músculo diana al estiramiento abarca toda la amplitud de movimiento. La ejecución del movimiento tiene como objetivo la activación del reflejo miotático (de estiramiento) causando la contracción de la musculatura agonista al estiramiento. La intensidad y la amplitud en las que se desarrolla la técnica determinan la intensidad del estiramiento^{3,6,9,26,27,31,32}.

2.1.4. Estiramiento en tensión activa

Otra técnica de estiramiento es el estiramiento en tensión activa, en el cual tiene lugar simultáneamente la contracción isométrica o excéntrica del músculo y el estiramiento del músculo. De esta manera, se incide en el tejido no contráctil de la unidad músculo-tendinosa (uniones miotendinosas y tendinoperiósticas)^{3,6,9,24,27}.

2.1.5. Facilitación neuromuscular propioceptiva

La facilitación neuromuscular propioceptiva es una técnica creada por Herman Kabat en la cual se estimulan los propioceptores incidiendo sobre el componente neuromuscular. La técnica se basa en una secuencia de estiramiento-contracción-relajación siendo: a) un estiramiento pasivo del músculo agonista (de 20 segundos), necesario para inhibir el reflejo miotático; b) una contracción isométrica del músculo agonista y/o una contracción concéntrica del músculo antagonista al estiramiento (de aproximadamente 7-15 segundos), consiguiendo la relajación del músculo por medio de la estimulación de los órganos tendinosos de Golgi y la activación del reflejo de inhibición autógena; c) una fase de relajación^{26,27}. Entonces, los mecanismos mediante los cuales se basan los efectos de la técnica FNP son la facilitación del reflejo miotático inverso (o de inhibición autógena), el mecanismo de inhibición recíproca e incide en los componentes pasivos de la unión miotendinosa (Figura 14; Figura 15)^{4,14}. Los tiempos de cada fase varían según los autores^{9,24,25}, puesto que a partir de esta técnica se han desarrollado otras propuestas de estiramiento por medio de otros autores como la técnica de

contracción-relajación³³, sostén-relajación, contracción-sostén-liberación-estiramiento, contracción-relajación-antagonista-contracción y la técnica de sostén-relajación-antagonista-contracción, entre otras^{4,6,26,27,31,32}.

2.2. Fisiología del estiramiento

Los estiramientos inciden en la musculatura esquelética tanto a nivel nervioso como mecánico.

2.2.1. Efecto sensitivo

Respecto al componente sensitivo de los estiramientos, éste incide en los husos neuromusculares (HNM) y en el órgano tendinoso de Golgi (OTG)⁶. Los HNM se estimulan con los cambios de longitud y con la velocidad con la que se realizan y estas aferencias informan a la motoneurona alfa de los músculos agonista y antagonista para facilitar el reflejo miotático y el mecanismo de inhibición recíproca en agonista y antagonista respectivamente^{2,6,7,14,29,35}. Los OTG son sensibles al aumento de tensión tanto muscular como tendinoso e informan a la motoneurona alfa para activar el reflejo miotático inverso^{2,6,7,14,29,35}.

2.2.2. Efecto mecánico

En cuanto al componente mecánico, existen dos vertientes por medio de las cuales se puede diferenciar un aspecto con un punto de vista más clínico y otro ámbito más en relación con el entrenamiento. La parte clínica se asocia con los conceptos de heterogenicidad de las estructuras musculares y tendinosas, es decir la organización de los tejidos contráctiles y no contráctiles¹³ y de rigidez activa como mecanismo de prerregulación protector a cualquier acción⁹. En el ámbito del entrenamiento se describen términos contrarios: a) *stiffness* (rigidez), siendo la capacidad de un tejido para oponerse a un estiramiento y; b) *compliance* (compliance), refiriéndose a la facilidad con la que un músculo se puede estirar. Esta vertiente se relaciona con el funcionamiento del ciclo estiramiento-acortamiento (CEA). La función del CEA es convertir la energía elástica durante la fase excéntrica para desarrollar una fuerza contraria e igual durante la fase concéntrica. De esta forma, el músculo deberá ser más rígido y menos compliant en acciones de predominio concéntrico y menor actuación del CEA y por el contrario, en acciones de predominio excéntrico con mayor participación del CEA, el músculo requerirá de mayor facilidad para estirarse (compliance) y menor *stiffness* (Figura 16)^{6,36}.

A nivel mecánico, sus efectos también se relacionan con respuestas viscoelásticas de los tejidos y del tejido conjuntivo en especial, ya que el colágeno es el tejido conectivo más abundante a nivel muscular, siendo éste responsable de la integridad estructural y de las fuerzas mecánicas del músculo^{4,26,35,37,41}.

Esto permite disminuir la viscoelasticidad muscular, permitiendo absorber mayor cantidad de energía y disminuir la carga en la unión miotendinosa bajo cualquier longitud muscular^{4,6,10,26,41}.

Al realizar un estiramiento estático se crea una tensión pasiva que implica, por este orden, a los puentes de actina y miosina, la titina (componente elástico del sarcómero) y, al aumentar la amplitud del estiramiento actúa sobre el tejido conjuntivo y el tendón^{6,38}.

2.2.3.Otros efectos

Otro efecto de los estiramientos que puede considerarse es un efecto analgésico como consecuencia de un aumento de la tolerancia al dolor (*stretch tolerance*), hecho que puede ser contraproducente para prevenir una lesión muscular^{6,35,39,41}.

Asimismo, se considera que existen adaptaciones a nivel celular y hormonal como respuesta al estiramiento^{11,35}.

2.3. Efectividad de los estiramientos respecto la prevención de lesiones musculares

Respecto a la realización de estiramientos previos al ejercicio físico, se sugiere que aumenta el rango de movimiento articular, incrementa la compliancia del músculo, reduce la rigidez muscular y como consecuencia se genera menor cantidad de fuerza para proteger el músculo de lesión^{10,29,30,34,35,38,41}. Además, se sugiere que un aumento de la compliancia muscular permite una mayor capacidad para absorber energía, de modo que se reduce el riesgo de lesión en acciones que requieren un alto componente de CEA^{6,30,36,37}. Sin embargo, se indica que una mayor compliancia muscular como resultado del estiramiento puede ser un mecanismo responsable de la disminución en el rendimiento muscular, aumentando el riesgo de lesión³⁵.

Repasando la literatura científica actual, se remarca que no se puede demostrar la efectividad de los estiramientos antes y después del ejercicio para la disminuir el riesgo de lesiones musculares ni para su prevención (inclusive DOMS) en cualquier tipo de población^{6,20,26,28,36,37,39,40,42,43,45,49}. Aun así, se sugiere que el estiramiento estático puede reducir lesiones músculotendinosas^{41,44}.

Asimismo, en la mayoría de estudios y revisiones se destaca la etiopatogenia multifactorial de las lesiones musculares, siendo difícil determinar los estiramientos como factor preventivo o bien como factor contraproducente^{6,17,20,36,44,45,46}.

3. PREVENCIÓN EN EL ÁMBITO DEPORTIVO

3.1. Definición de prevención

Esta revisión está dirigida a la prevención de lesiones musculares, por lo que es interesante saber el significado de *prevención*. Según la Real Academia Española (RAE), prevenir es “*Prever, ver, conocer de antemano o con anticipación un daño o perjuicio*”²³. Esto viene a destacar la importancia de anticiparse a la lesión y por ello es necesario conocer a qué factores hay que anticiparse. Indagando en el campo de la medicina deportiva acerca de una definición más técnica y específica de prevención de la lesión deportiva, no se dispone de un consenso en cuanto a su definición, por lo que es necesario establecer una definición en el futuro⁴⁷.

3.2. Definición de mecanismo lesional

Desde una visión biomecánica se pretende definir el concepto de *mecanismo lesional* en base a la secuencia de la prevención descrita por van Mechelen *et al.*⁴⁶, la cual hace hincapié en la naturaleza multifactorial de las lesiones deportivas^{36,45}, resultando en una compleja interacción entre factores internos y factores externos que desembocan en una situación desencadenante que tiene como consecuencia la lesión (Figura 17)⁴⁵. Así pues, focalizado en el evento desencadenante, el concepto de *mecanismo lesional* se describe mediante cuatro aspectos: a) situación o momento de juego; b) conducta del individuo (y oponente en deportes colectivos); c) descripción biomecánica general del cuerpo; d) descripción biomecánica detallada de la estructura afectada⁴⁵.

3.3. Origen multifactorial de las lesiones deportivas

Esto nos conduce al modelo integral de la causa de lesiones deportivas descrito por Bahr y Krosshaug (Figura 18), el cual ofrece una visión epidemiológica y biomecánica de lesión, además de tener en cuenta las características del deporte en cuestión. Este modelo es de interés en el campo de la prevención de lesiones ya que considera y entiende todos los factores intrínsecos como extrínsecos que predisponen y que hacen susceptible de lesionarse a un individuo. La suma de ambos factores junto con la precipitación de una situación desencadenante resulta en la lesión deportiva^{3,45}.

Por lo tanto, los estiramientos musculares se relacionan con los factores intrínsecos de predisposición de lesión y por ello, son un factor más a tener en cuenta de cara a la prevención de lesiones musculares, debido al origen multifactorial de las mismas^{3,45,46}.

3.4. Definición de flexibilidad y su relación con la prevención

La flexibilidad es una cualidad física facilitadora relacionada con la libertad y amplitud de movimiento (ADM) de una articulación o de un conjunto de articulaciones, siendo una propiedad intrínseca de los tejidos del cuerpo, dependiente de la viscoelasticidad de los músculos, ligamentos, y otros tejidos conectivos que establece un rango de movimiento de una o varias articulaciones sin lesión. Existe la flexibilidad estática y la flexibilidad dinámica, diferenciándose en que la primera utiliza la ADM de una articulación por medio de una fuerza externa, por lo tanto sin la producción de una contracción muscular voluntaria; mientras que la dinámica se relaciona con la ADM de una articulación mediante una contracción muscular voluntaria. Una buena flexibilidad dinámica asegura una buena flexibilidad estática, pero a la inversa no^{6,10,28}.

Dentro del campo de los estiramientos, existen distintos métodos para aumentar la flexibilidad tales como el estiramiento pasivo, estático, activo, balístico y la facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF)²⁸.

En cuanto a la relación entre la prevención de lesiones musculares y la flexibilidad, por el momento no es posible establecer un nexo entre ellos debido a que existe disparidad de información respecto a la importancia de la flexibilidad muscular en la prevención de lesiones musculares^{16,17,28,36,48}. Revisiones realizadas recientemente en este campo corroboran la falta de relación entre la flexibilidad muscular y la disminución del riesgo de lesiones^{20,37,40,49}. No obstante, se han realizado varios estudios⁵⁰⁻⁵⁴ en los que se sugiere que un buen nivel de flexibilidad disminuye la incidencia de lesiones, o dicho de otra manera, una flexibilidad reducida supone un mayor riesgo de lesión, siendo la flexibilidad muscular un factor intrínseco a considerar en el campo de la prevención de lesiones musculares^{37,51}. Otros estudios sugieren que casos extremos de inflexibilidad o hiperflexibilidad pueden aumentar el riesgo de lesión²⁷.

3.5. Definición de calentamiento

El calentamiento es un conjunto de ejercicios ejecutados previamente a una actividad y diseñados con el objetivo principalmente de: a) mejorar la dinámica muscular y la amplitud de movimiento para que el músculo sea menos propenso a lesionarse; b) preparar al atleta para afrontar las sollicitaciones del determinado ejercicio, de manera que actúa a nivel fisiológico, físico y psicológico^{6,26}.

Así pues, la realización de estiramientos en o durante la fase de calentamiento no tiene que poner en compromiso los efectos fisiológicos y físicos del calentamiento, esto es, permitir el aumento del flujo sanguíneo en el tejido muscular e incremento de la velocidad de las contracciones musculares así como de las transmisiones nerviosas. En el aspecto físico, el estiramiento debe permitir que el músculo

sea menos viscoso proporcionando así un mecanismo de protección a nivel muscular por medio de un aumento de la tolerancia al estiramiento, de modo que para que se produzca una rotura muscular se requiere una mayor longitud de estiramiento muscular y una mayor producción de fuerza^{6,10,26}.

Woods *et al.* proponen que se debe llevar a cabo un protocolo de calentamiento junto con estiramientos los 15 minutos previos al ejercicio físico para así conseguir los mayores beneficios para la prevención de lesiones musculares²⁶.

3.6. Definición de vuelta a la calma

La vuelta a la calma es el período de preparación y recuperación después del ejercicio físico en el que se debe normalizar el estado neurovegetativo y muscular (hipertono muscular), generado este último por la acumulación de sustancias de desecho del metabolismo. Se utilizan medidas tanto pasivas (por ejemplo, estiramientos) como activas como para la normalización del organismo. La actividad rítmica aeróbica (bombeo muscular) es una medida activa para mejorar la irrigación y consecuente limpieza activa del músculo⁶.

3.7. Estado actual de la prevención de lesiones musculares

La prevención de lesiones musculares tiene como objetivo preparar al músculo para soportar la carga biomecánica requerida en el tipo específico de deporte que se practica, incidiendo tanto desde un punto de vista mecánico como neuromuscular. Así pues, las actuaciones preventivas actuales se clasifican en: a) control e identificación de los factores de riesgo; b) mejora del entrenamiento específico; c) mejora de la resistencia a la fatiga; d) mejora de la fuerza en contracción excéntrica; e) mejora del equilibrio en la función lumbopélvica; f) mejora de los programas de rehabilitación para la prevención de lesiones recidivantes. Por lo tanto, se requieren más investigaciones sobre la prevención de lesiones musculares en diferentes tipos de deportes para conocer cuáles son las medidas preventivas óptimas de mayor evidencia científica^{3,17}.

3.8. Rol de la Fisioterapia en la prevención de lesiones musculares

Existen ciertos factores a tener en cuenta que predisponen a la lesión muscular: lesión previa y rehabilitación inadecuada; déficit propioceptivo (inestabilidad funcional); déficit de fuerza; equilibrio muscular anormal; laxitud ligamentosa (inestabilidad mecánica); déficit de movilidad y/o flexibilidad; cicatriz local³. En todos ellos, la figura del fisioterapeuta es de gran importancia debido a que corresponde a la Fisioterapia la mejora de déficits ya sean funcionales, mecánicos o de movilidad con las distintas herramientas que posee. Identificar factores de riesgo, mejorar los niveles de fuerza

muscular excéntrica y la función del complejo lumbopélvico^{3,17} son herramientas preventivas de las lesiones musculares al abasto también de la figura del fisioterapeuta. Por rehabilitación inadecuada se refiere a la realización de reposo en lugar de movilización precoz, factor que promueve la formación y presencia de tejido fibroso cicatrizal de la zona de lesión, la cual carece de sus capacidades contráctiles, aumentando el riesgo de re-lesión. Además, la introducción post lesión de ejercicio controlado y sus variables en tiempo (en relación a la fecha de la lesión), intensidad y duración son condicionantes a tener en cuenta en la fase de rehabilitación^{55,56}. Pues, una adecuada rehabilitación tiene como objetivos normalizar la amplitud de movimiento, la fuerza, la función neuromuscular de la zona lesionada y readaptar los gestos específicos del deporte en concreto^{17,56}. Todos ellos son factores importantes para reducir el riesgo de re-lesión¹⁷.

Siguiendo en esta misma línea, la presencia de tejido cicatrizal local posterior a una lesión muscular y los procesos de rehabilitación de las lesiones musculares son responsabilidad del fisioterapeuta y se debe trabajar en base a ello para mejorar el estado de la lesión y evitar futuras recidivas mediante la prevención^{3,17}. A modo de ejemplo, la atrofia muscular, el exceso de tejido conectivo en el tejido muscular y la pérdida de fuerza y extensibilidad del músculo son condiciones a evitar por parte del fisioterapeuta en el tratamiento de la lesión muscular¹. Por ello, en relación al uso de los estiramientos en la Fisioterapia, los estiramientos (entendiéndose como movilización activa del segmento) progresivos después de una primera y breve fase de inmovilización son necesarios en el abordaje de la lesión debido a que mejora la unión de las fibras musculares a través del tejido cicatricial (tejido conectivo), mejora el estado de la cicatriz, facilita la correcta organización y alineamiento de las fibras musculares, facilita la resistencia del tejido a las fuerzas de tracción e induce a la neovascularización capilar de la zona lesionada¹.

El abordaje y la prevención de las lesiones musculares requieren la presencia de varios profesionales de la Fisioterapia, Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (CAFD), Medicina (o Medicina del deporte) e incluso Enfermería, entre otros, que trabajen en equipo desde una visión interdisciplinar³. De esta manera, el papel de la prevención de las lesiones musculares puede ser competencia tanto de un fisioterapeuta como de un graduado en CAFD, siendo complementario el trabajo de uno y de otro profesional, pero sin perder la referencia del trato interdisciplinar para las lesiones musculares.

En definitiva, destacando todavía más el rol de los fisioterapeutas en el ámbito de la prevención de lesiones musculares, la mayoría de artículos que se revisan en este trabajo el fisioterapeuta participa de manera destacada en ellos, enfatizando así el rol de la fisioterapia en este campo de la prevención^{60,61,62,64,65,67,68,69}.

4. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La literatura científica existente sugiere una falta de evidencia para demostrar una relación entre la realización de estiramientos musculares (previos y posteriores al ejercicio físico) y la prevención de lesiones musculares en cualquier tipo de población. Además, contrariamente al pensamiento común, tampoco es posible establecer una relación entre la flexibilidad y la prevención de lesiones musculares, a pesar que varios estudios sugieren la existencia de una relación entre ambos. También se destaca la naturaleza multifactorial de las lesiones musculares, por lo que es necesario conocer la importancia de los estiramientos en las mismas.

Este trabajo es novedoso por el hecho que en la literatura científica no existe ninguna revisión con el objetivo de estudiar, tal y como se propone en este trabajo, los efectos de los estiramientos musculares, realizados previa y/o posteriormente al ejercicio físico, para la prevención de las lesiones musculares^{6,16,17,20,26,28,29,36,37,39-44,48,57,58}.

Por lo tanto, con la realización de este trabajo se pretende aportar una información relevante sobre los estiramientos y su relación con la prevención de lesiones, puesto que existe mucha disparidad de información y de opiniones en cuanto a este tema. Este hecho remarca la necesidad y justificación de la realización de este proyecto para intentar aclarar esta confusa situación.

La práctica de actividad física y ejercicio físico ha aumentado en la población actual. Del mismo modo, es frecuente realizar estiramientos antes y/o después de la práctica física, principalmente estáticos (pasivos), con los objetivos mitificados de “prevenir lesiones”, “aumentar la flexibilidad”, “disminuir la rigidez”, “sentirse mejor”, etc. Por ello, es necesario determinar si realmente estirar previa y/o posteriormente al ejercicio tiene un efecto beneficioso sobre la prevención de lesiones musculares, y en caso afirmativo, es importante definir y ubicar qué tipos de estiramientos son los más apropiados para una actividad, ejercicio o deporte determinado y cómo y durante cuánto tiempo hay que realizarlos.

El trabajo se fundamenta en la aplicación de los estiramientos, con el fin de prevenir lesiones musculares, sobre una estructura sana y no dañada, ya que los objetivos para realizar un tipo de estiramiento u otro varían en función del estado biológico y funcional del músculo. Además, el uso de los estiramientos es una herramienta terapéutica más de las cuales dispone un fisioterapeuta (sea cual sea la situación a tratar). En la recuperación de la lesión muscular la figura del fisioterapeuta es clave e imprescindible para normalizar la función y la estructura y para ofrecer estrategias para prevenir y evitar la futura recidiva.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

1. OBJETIVOS GENERALES

- Revisar la situación actual de los efectos de los estiramientos en su realización previa, posterior o ambas al ejercicio físico como herramienta para la prevención de lesiones musculares.
- Revisar la situación actual de las diferentes modalidades de estiramiento en su realización previa, posterior o ambas al ejercicio físico como herramienta para prevenir lesiones musculares.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si la literatura científica respalda la realización de estiramientos en el calentamiento previo al ejercicio físico y en caso afirmativo, qué modalidad de estiramiento pre-ejercicio es la más adecuada con el objetivo de prevenir lesiones musculares.
- Determinar si la literatura científica respalda la práctica de estiramientos post-ejercicio y en caso afirmativo, qué modalidad de estiramiento es la más indicada con la finalidad de prevenir lesiones musculares.
- Clasificar las diferentes modalidades de estiramiento en base a sus mecanismos de acción sobre la fisiología del tejido muscular.

METODOLOGÍA

1. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA E IDENTIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS

Los estudios de interés de esta revisión bibliográfica se han obtenido mediante una búsqueda electrónica en Medline, CINAHL Plus, SPORTDiscus, Scopus y PEDro (Tabla 6) y además, se han explorado los listados de referencias bibliográficas de los artículos de interés para asegurar la identificación de todos los artículos relevantes mediante el rastreo en Google Scholar. La búsqueda se ha llevado a cabo entre Setiembre de 2013 y Marzo de 2014. Las palabras clave utilizadas para dicha investigación han sido: ejercicio (*"exercise"*), estiramiento (*"stretching"*), lesión (*"injury"*), músculo (*"muscle"*) y prevención (*"prevention"*). Se limitó el rastreo a artículos publicados entre 1995 (incluido) y febrero 2014 (actualidad) con el fin de obtener una información lo más actual y reciente posible.

2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS

En primer lugar, tras la primera búsqueda se consideraron de inclusión, por medio de la lectura del título del estudio, los artículos que coincidían con las palabras claves utilizadas y con los criterios de inclusión y de exclusión determinados. Los criterios de inclusión y exclusión se fundamentan en el tipo de población de estudio, en la estructura corporal estudiada, en el tipo de intervención analizada, en las variables de estudio que se analizan y en el diseño del estudio, año e idioma de publicación (Tabla 7). En cuanto a los tipos de estudios, se excluyen las revisiones sistemáticas y meta-análisis debido a que este trabajo pretende ser una revisión bibliográfica con el fin de revisar los estudios relacionados con el tema de estudio, y no analizar trabajos ya realizados centrados con el mismo tema. A continuación, se realizó el mismo proceso mediante la lectura de los *abstracts*. Finalmente, se trabajó con la aplicación de este procedimiento en la lectura completa de los artículos.

A partir de aquí, se obtuvieron los 12 artículos que conforman esta revisión bibliográfica.

3. EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA METODOLOGÍA

Con la finalidad de evaluar la calidad de los estudios incluidos en la revisión se utiliza una herramienta que evalúa la metodología de los estudios de las ciencias de la salud desde un punto de vista cualitativo⁵⁹. De hecho, no se elimina ningún artículo por su metodología con la aplicación de dicha herramienta. Por lo tanto, se trata de una lista de verificación validada para la evaluación metodológica de estudios controlados y no controlados que consta de 27 apartados divididos en cinco grandes bloques: *"reporting"* (presentación del estudio; 10 ítems); validez externa (3 ítems); validez interna-sesgo (7 ítems); validez interna-factor de confusión (6 ítems) y potencia (1 ítem). Esta herramienta se

caracteriza por una alta consistencia interna para los estudios no controlados (coeficiente de fiabilidad Kuder Richardson-20 = 0.89) y para los estudios aleatorizados ($r = 0.90$) y una buena fiabilidad de test-retest ($r = 0.88$) e inter-examinador ($r = 0.75$)^{58,59}.

Esta lista de verificación se ha utilizado recientemente, aunque en una versión modificada, en una revisión sistemática y meta-análisis sobre los factores de riesgo de la lesión muscular del isquiotibial en el deporte⁵⁸.

Con los resultados obtenidos, los cuatro estudios con mayor cualificación son los escogidos para comentar en el siguiente apartado del trabajo.

4. SÍNTESIS DE LA EVIDENCIA ENCONTRADA

Como se ha comentado en anterioridad, se han seleccionado los cuatro artículos con mayor puntuación en la lista de verificación debido a que la alta puntuación refleja una buena metodología de estudio (Tabla 8).

4.1. Jamtvedt G, Herbert RD, Flottorp S, Odgaard-Jensen J, Havelrud K, Barratt A, et al. (2010)⁶⁵

Se trata de un estudio pragmático aleatorizado basado en Internet que busca determinar los efectos de los estiramientos antes y después de la actividad física respecto al riesgo de lesión y de dolor en una población activa. Tiene un gran volumen de participantes ($N=2377$), los cuales realizan actividad física de manera regular y se dividen de manera aleatoria en un grupo de estiramiento ($n=1220$) que realiza estiramientos estáticos de 30 s de gastrocnemios, aductores, flexores y rotadores externos de cadera, isquiotibiales, recto femoral y rotadores de tronco, previa y posteriormente a la actividad física y en un grupo control ($n=1157$) que no realiza estiramientos. El seguimiento del estudio es de 12 semanas y las variables a medir son cualquier lesión y/o dolor muscular (EVA 0-10) de EEII o tronco y secundariamente lesiones musculares, ligamentosas y tendinosas relacionadas con el ejercicio físico.

La conclusión del estudio se resume en que los estiramientos realizados antes y después de la actividad física pueden reducir el riesgo de lesiones musculares, ligamentosas y tendinosas y ligeramente el riesgo de experimentar dolores musculares en una población activa. Por el contrario, no tienen ningún efecto relevante en la prevención de otras lesiones ni de EEII en la misma población.

4.2. Pope RP, Herbert RD, Kirwan JD, Graham BJ (2000)⁶⁸

Es un estudio controlado aleatorizado llevado a término con militares de la armada de Australia (N=1538) con el fin de investigar el efecto del estiramiento muscular durante el calentamiento con el riesgo de sufrir una lesión relacionada con el ejercicio en un seguimiento de 12 semanas. El grupo de estiramiento (n=735) realiza una combinación de “jogging” y pasos laterales con estiramientos autoasistidos (20 segundos de duración por estiramiento) de gastrocnemios, sóleo, isquiotibiales, cuádriceps, aductores de cadera y flexores de cadera de ambas extremidades, durante la fase de calentamiento previa al entrenamiento físico. El grupo control (n=803) sólo realiza la “jogging” y pasos laterales sin estiramientos.

La conclusión del estudio es que un protocolo típico de estiramientos musculares pre-ejercicio produce una ligera reducción clínica en el riesgo de lesiones musculares.

4.3. Torres R, Pinho F, Duarte JA, Cabri JMH (2013)⁶⁹

El objetivo de este estudio controlado aleatorizado es comparar el efecto del estiramiento pasivo realizado una única vez o de manera repetida, aplicado diariamente posterior al ejercicio excéntrico, con marcadores indirectos del daño muscular inducido por el ejercicio en 56 hombres no entrenados repartidos en 4 grupos por igual (n_1 - n_4 =14): 1) grupo SSG: una serie de estiramientos pasivos asistidos de cuádriceps de la extremidad dominante, 2) grupo ECCG: ejercicio excéntrico isocinético de cuádriceps dominante, 3) grupo ECC+SSG: ejercicio excéntrico seguido de una única serie de estiramiento, 4) grupo ECC+RSG: ejercicio excéntrico seguido de estiramientos realizados justamente posterior al ejercicio y a las 24, 48 y 72h post-ejercicio.

A modo de conclusión, no se obtienen diferencias significativas en el dolor muscular, la actividad de la creatina quinasa en plasma y peak torque máximo concéntrico después de realizar una, varias o ninguna serie de estiramientos. Se obtienen efectos positivos para la reducción de la rigidez muscular.

4.4. Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG (2005)⁷⁰

En un equipo profesional de fútbol Australiano (N=70 jugadores) se realiza un estudio prospectivo (a cuatro años) para evaluar el efecto de un programa específico en la incidencia y consecuencia de las lesiones musculares de los isquiotibiales.

Se concluye que el programa específico de intervención reduce significativamente el número y las consecuencias de las lesiones musculares del isquiotibial en jugadores de fútbol Australiano y la realización de estiramientos puede prevenir la lesión muscular isquiotibial.

RESULTADOS

1. CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD DE LOS ESTUDIOS SELECCIONADOS

Los resultados obtenidos en la evaluación cualitativa de los estudios incluidos varían en un rango de 14 hasta 23 puntos sobre los 27 posibles (Tabla 8). Los porcentajes oscilan entre el 52 y el 85% (mediana=67%).

Ocho artículos^{32,61,63,66-70} muestran que las condiciones en las que se ha realizado el estudio (personal, lugares e instalaciones) no son representativas de la población general, de modo que no obtuvieron ninguna puntuación en el ítem 13 en el apartado de validez externa.

En ninguno de los artículos incluidos^{32,60-70} se trató de cegar a los sujetos de estudio acerca de la intervención que estaban recibiendo ni tampoco a los evaluadores que medían las principales variables de estudio, obteniendo una puntuación de cero en los ítems 14 y 15 que hacen referencia a la validez interna de los estudios.

Además, sólo tres artículos^{66,69,70} consiguen una adhesión total de sus participantes a lo largo de sus estudios por lo que son los únicos que puntúan en el apartado 19.

El diseño de los estudios incluidos es muy variado: estudios prospectivos^{32,60,62,64,70}, estudios controlados aleatorizados^{68,69}, ensayos no controlados^{66,67}, un estudio controlado aleatorizado y cruzado⁶³, un estudio pragmático aleatorizado⁶⁵ y un estudio retrospectivo⁶¹; así como el tipo de población de estudio, aunque todos población sana: equipos de fútbol⁶⁰⁻⁶², militares^{32,68}, equipos de fútbol Australiano^{63,70}, población no entrenada^{67,69}, navegantes profesionales de vela⁶⁴, población activa⁶⁵ y estudiantes⁶⁶.

2. EFECTOS DE LOS ESTIRAMIENTOS

En la Tabla 9 se resumen los resultados de interés obtenidos de los artículos incluidos en la revisión y que se detallan a continuación.

2.1. Realizados previamente al ejercicio

Dos estudios prospectivos realizados en ligas europeas de fútbol de Islandia (Icelandic Premier League y Icelandic First Division) y Noruega (Tippeligaen)⁶⁰ y de Inglaterra (Premiership, Division 1, 2 y 3)⁶² miden la incidencia de las lesiones musculares de isquiotibial obteniendo resultados distintos.

El primer estudio⁶⁰ se lleva a cabo en cuatro años (1999-2002) (Figura 19). Las temporadas 1999 en Islandia y 2000 en Islandia y Noruega sirven como referencia para conocer la incidencia de las lesiones musculares de isquiotibiales. La temporada 2001 se incorpora el programa de prevención del estudio en Islandia (calentamiento, flexibilidad y fuerza) y en Noruega (calentamiento y flexibilidad). En la temporada 2002 el programa de prevención (calentamiento y fuerza) se establece en las ligas de ambos países. El programa consta de tres partes: fase de calentamiento (auto-estiramiento de contracción-relajación de los isquiotibiales antes de la sesión de entrenamiento o partido; 5-10 s de contracción, relajar y mantener la posición de estiramiento 20 s, tres repeticiones ambas extremidades); entrenamiento de flexibilidad; entrenamiento de fuerza excéntrica (Nordic Hamstring). La adherencia al programa de prevención fue del 48% en las temporadas de 2001 y 2002. La incidencia de lesiones del isquiotibial (cada 1000h de exposición) disminuye con los programas de fuerza excéntrica y de estiramientos en fase de calentamiento (Islandia y Noruega 2002) respecto a los programas de estiramientos en fase de calentamiento y entrenamiento de la flexibilidad (Noruega 2001) y al programa de prevención completo (Islandia 2001) (Figura 20). En la temporada 2001, 7 de los 14 equipos de la Tippeligaen siguen el programa de calentamiento (estiramientos) y de flexibilidad y no se observan diferencias significativas en la incidencia de lesiones musculares de los isquiotibiales entre los equipos que siguieron el programa y los que no (0.54 ± 0.12 vs 0.35 ± 0.10 , $RR=1.53$, $p=0.22$). Tampoco se encuentran diferencias significativas en la incidencia de lesiones musculares de los isquiotibiales entre los equipos participantes del programa y todos los equipos de años anteriores ($RR=1.53$; $p=0.75$).

El segundo estudio⁶² tiene lugar durante la temporada 1998-1999 en aproximadamente participan 800 jugadores de 30 equipos profesionales de las cuatro divisiones del fútbol inglés. Se elabora un cuestionario auto-administrado con apartados relacionados con: componentes del personal técnico, cuestiones sobre la temporada futbolística, procedimientos de entrenamiento, procedimientos de calentamiento y de vuelta a la calma, procedimientos de flexibilidad e información sobre las lesiones. Además, se propone la realización de un protocolo estándar de estiramientos (SSP) que consiste en estiramientos estáticos o PNF precedidos de la fase de calentamiento, con una duración del estiramiento estático de 15-30 s. En la temporada 1998-99 (Tabla 10) se registran 1435 lesiones en los 30 equipos participantes, 479 de las cuales son musculares y de éstas, 158 son del isquiotibial. El estiramiento estático es la modalidad de estiramiento utilizada con más frecuencia, respecto a las técnicas de PNF y balísticas. La aplicación del protocolo SSP se correlaciona con una menor incidencia de lesiones musculares del isquiotibial ($p=0.01$). Casi la totalidad de los equipos de la Premiership ($N=8$) realizan estiramientos antes y durante el calentamiento ($n=7$) y de una duración media de 30 s. El entrenamiento de la flexibilidad

supone un 37.6% de la carga total semanal de entrenamiento. Seis equipos aplican el SSP en sus entrenamientos y los índices de lesiones musculares (ILM) y de isquiotibial (ILI) cada 1000 son de 36.8 y de 13.3 respectivamente. En la Division 1 (N=10), la mayoría de los equipos aplican los estiramientos antes y durante el calentamiento (n=7) y de una duración media de 20 s. El entrenamiento de flexibilidad corresponde al 47.5% de la carga semanal. Nueve de los 10 equipos se adhieren al SSP y el ILM es de 29.3 y el ILI de 9.3 cada 1000h. La mitad de los equipos de la Division 2 (N=6) realizan estiramientos antes del calentamiento y la otra mitad, antes y durante del mismo con una duración de 20 s. La carga de entrenamiento de flexibilidad supone el 32.9% del total y cuatro equipos siguen el SSP. Los ILM y ILI son de 26.5 y de 7.8 cada 1000h respectivamente. En la Division 3 (N=6) la mayoría de los equipos aplican la fase de estiramientos antes y durante el calentamiento (n=4), con una duración media de 15 s. El entrenamiento de la flexibilidad supone un 38.6% de la carga total semanal y cuatro equipos aplican el SSP. El ILM es de 42.7/1000h y el ILI 10.1/1000h.

Otro estudio realizado en 195 jugadores de futbol Americano de la Tercera División universitaria de EUA⁶¹ trata de comparar el número de lesiones musculares (indirectas) de isquiotibiales, cuádriceps, aductores de cadera y tríceps sural antes y después de la incorporación de un programa de estiramientos. Por ello, el primer año (1994) sirve como referencia y en el segundo año de estudio (1995) se incorpora un programa de estiramientos en la rutina de entrenamiento ya realizada en el año anterior. Son estiramientos estáticos ejecutados inmediatamente antes del entrenamiento de acondicionamiento de isquiotibiales, cuádriceps, aductores de cadera y tríceps sural, hasta percibir la sensación de estiramiento muscular y mantener la posición 15 segundos. Se realiza de manera bilateral 3 veces. En la temporada 1994 se registran 155 lesiones, 43 de las cuales son musculares de EEII (27.7%) y en la temporada 1995 se registran 153 lesiones, 21 de las cuales son musculares de EEII (13.7%). Por lo tanto, existe una reducción de un 48.8% en las lesiones musculares, por lo que la diferencia es significativa ($p<0.05$).

En un ensayo no controlado se llevado a cabo en 10 mujeres estudiantes sanas se pretende determinar la efectividad de los estiramientos estáticos pre-ejercicio de los isquiotibiales⁶⁶. Por ello, se distribuye de manera aleatoria una extremidad inferior como de intervención y la contralateral como control (no existe grupo control). Se realiza un calentamiento con 5 minutos de cicloergómetro y seguidamente, autoestiramientos estáticos en sedestación de la musculatura isquiotibial (4 maniobras de 20 s con un descanso entre éstas de 20 s). Al terminar, se realizan 10 series de 10 contracciones excéntricas isocinéticas de los flexores de rodilla de ambas extremidades. Los picos de dolor muscular a las 48h post-ejercicio son de 71 ± 17 en la extremidad de estiramiento y 69 ± 16 en la control (escala EVA), por lo que no existen diferencias significativas entre las extremidades ($p=0.986$) (Figura 21).

Finalmente, un estudio controlado aleatorizado realizado con 1538 militares de la armada de Australia trata de investigar el efecto del estiramiento muscular durante el calentamiento con el riesgo de sufrir una lesión relacionada con el ejercicio⁶⁸. El grupo de estiramiento realiza estiramientos autoasistidos (20 segundos de duración por estiramiento) de gastrocnemios, sóleo, isquiotibiales, cuádriceps, aductores de cadera y flexores de cadera de ambas extremidades, durante la fase de calentamiento previa al entrenamiento físico; y el grupo control no realiza estiramientos. Se registran 14 lesiones musculares en GE por 21 del GC (HR = 0.67).

2.2. Realizados posteriormente al ejercicio

En el primer estudio relacionado con los estiramientos ejecutados después del ejercicio⁶³, se centra en un equipo de 17 jugadores de la Segunda División de fútbol Australiano (Western Australian Football League). Se proponen cuatro modalidades de recuperación post-partido: estiramientos, caminar en el agua (piscina), baños de contraste y un grupo control (no recuperación, sólo alimentaria). Los estiramientos son de tipo estático asistidos de distintos grupos musculares, realizados en 2-3 ocasiones con una duración de 30 s por estiramiento. Los jugadores actúan como su propio control. Las intervenciones empiezan a los 15-20 min de finalizar el partido y cada intervención se realiza 3 veces, es decir se disputan 12 partidos. Además, se pasa un cuestionario a los jugadores para valorar subjetivamente las diferentes modalidades (escala 1-4, siendo uno el más efectivo). Se obtienen los datos de los jugadores que han realizado los procedimientos de recuperación en dos o más ocasiones, siendo: control (n=17), estiramientos (n=14), caminar en el agua (n=14) y baños de contraste (n=12). El dolor muscular es significativamente mayor ($p<0.01$) a las 15h y 48h post-partido respecto a los datos de referencia (45h pre-partido) en todas las condiciones y a las 15h post-partido se obtienen los valores más elevados (4.4-5.2 sobre 7). A las 48h post-partido se observa una ligera mejoría pero no significativa. No existen diferencias importantes entre el grupo de estiramiento y el de control. Los datos subjetivos del cuestionario indican que los estiramientos son la tercera modalidad más efectiva y la segunda más preferida por los jugadores, siendo la mejor el caminar en la piscina.

En un segundo estudio realizado en 56 hombres no entrenados⁶⁹, éstos son distribuidos en 4 grupos distintos (n=14; SSG, ECCG, ECC+SSG, ECC+RSG) con el fin de comparar los resultados de la aplicación de estiramientos pasivos asistidos de cuádriceps de la extremidad dominante (10 estiramientos de 30s con un descanso de 10s entre estiramientos) en una o más series, posteriormente a la realización de ejercicio excéntrico isocinético del cuádriceps dominante a lo largo del tiempo (inmediatamente después y a las 24, 48 y 72 horas). Así pues, posterior al ejercicio excéntrico todos los grupos muestran un incremento significativo ($p<0.05$) en el dolor muscular hasta las 72h (Figura 22) y

en el aumento de la actividad de creatina quinasa en plasma hasta las 96h (Figura 23). El estiramiento aplicado inmediatamente post-ejercicio o a las 24h mejora la rigidez muscular.

2.3. Realizados previa y posteriormente al ejercicio

En primer lugar, una población activa adulta ($n=2377$) participa en un estudio pragmático aleatorizado basado en Internet en el que se evalúan los efectos de los estiramientos realizados antes y después de la actividad física respecto al riesgo de lesión y de dolor muscular⁶⁵. El grupo de estiramiento realiza estiramientos estáticos de 30 s de gastrocnemios, aductores, flexores y rotadores externos de cadera, isquiotibiales, recto femoral y rotadores de tronco, previa y posteriormente a la actividad física y se les pide que no realicen ningún estiramiento de cualquier otro grupo muscular. Los estiramientos reducen el riesgo de lesión de músculos, ligamentos y tendones con un ratio de incidencia de 0.66 lesiones por persona al año en el GE y 0.88 en el GC ($HR=0.75$ y $p=0.03$) y producen pequeñas disminuciones en el riesgo de experimentar dolor muscular ($p=0.003$). Además, existe una relación significativa entre los pensamientos acerca de la efectividad de los estiramientos y sus efectos en el riesgo de dolor muscular ($p=0.034$), pero no existe respecto a la reducción del riesgo de todas las lesiones ($p=0.50$).

Dos estudios prospectivos analizan los efectos de los estiramientos realizados antes y después del ejercicio. El primero con 901 militares sanos de las Fuerzas Armadas de Japón como participantes pretende evaluar la efectividad del estiramiento estático en la prevención de lesiones en militares³². El grupo de intervención asignado aleatoriamente realiza estiramientos estáticos antes y después de cada entrenamiento físico (supervisados) de 30s de duración. La rutina de estiramientos consiste en 18 ejercicios: 4 EESS, 7 EEII, 7 tronco y se completa en 20 minutos. El grupo control ejecuta estiramientos dinámicos previos al entrenamiento físico de 5-10 min de duración. La incidencia de lesiones musculares es de 1.1% del total, teniendo lugar 3 lesiones en el GI de EEII (0.6%) y 8 lesiones en el GC (5 de EEII y 3 EESS; 2,4%). En el conjunto de las lesiones músculotendinosas, existe una diferencia significativa en la incidencia de lesiones entre ambos grupos ($p<0.05$).

El segundo estudio prospectivo se lleva a cabo con 30 navegantes profesionales que participan en la America's Cup de vela⁶⁴. No obstante, 25 navegantes completaron el estudio en las temporadas 2004, 2006 y 2007; y 28 navegantes en la temporada 2005. En 2004 (Fase de pre-intervención; 9 días de competición) no se realiza ningún programa preventivo. En 2005 (Fase 1; 9 días de competición) se introduce un programa de prevención que consiste en ejercicios de estiramiento antes de las regatas y aplicación de vendaje preventivo. Los estiramientos realizados son de tipo activo y de PNF de los flexores, extensores y rotadores de tronco así como de las EESS y EEII, en diferentes posiciones (decúbito supino, prono, lateral, bipedestación, de rodillas, sedestación sobre una pelota Suiza). Cada

estiramiento tiene una duración de 20-30 s con una o dos repeticiones y una duración total de 30 min. En 2006 (Fase 2; 18 días de competición) se añade al programa movilizaciones articulares antes de la competición, baños de crioterapia después de la competición y aplicación de kinesiotaping. En 2007 (Fase 3; 20 días de competición) se añade una fase de recuperación mediante ejercicios de estabilidad central ("core"), ejercicios de estiramiento y 12h de ropa compresiva. Se llevan a cabo estiramientos de PNF (entre 5-8 min de duración total) de los músculos isquiotibiales, piriforme, glúteos (mayor, medio y menor), psoas-iliaco, cuádriceps, dorsal ancho, redondo menor, trapecios, romboides y flexores y extensores de antebrazo. La incidencia de lesiones musculares disminuye durante el estudio, de manera que en 2004 las lesiones musculares suponen un 61% (22 de un total de 36) y en 2007, después de la tercera fase del programa preventivo, disminuye hasta el 14% (5 de 36) (Figura 24). En los "grinders" (n=7), tras la finalización del programa las lesiones musculares se reducen al 20% del total en 2007 (1 única lesión muscular), de manera que en 2004 se registran 11 lesiones musculares, en 2005 1, en 2006 3 (Figura 25).

En un último ensayo no controlado llevado a cabo con 7 mujeres sanas no entrenadas⁶⁷ se realiza un primer experimento en el que se realiza ejercicio excéntrico isocinético del músculo cuádriceps de EEII derecha hasta la extenuación y en un segundo experimento, entre 13-23 meses después del experimento 1, se combina la realización de ejercicio excéntrico y estiramientos pasivos, los cuales son asistidos, en posición de decúbito prono, con una duración de 30 s y se ejecutan en tres ocasiones con un descanso entre ellos de 30-50 s. Los estiramientos se realizan antes y después del ejercicio excéntrico (día 0) y cada día antes de la obtención de datos de estudio hasta el séptimo día de estudio. En los dos experimentos los sujetos refieren un pico de dolor muscular a las 48h posteriores al ejercicio excéntrico y en el día 3 el dolor todavía persiste, de manera que no existen diferencias entre ambos experimentos (Figura 26). La concentración de creatina quina en plasma posterior al ejercicio excéntrico incrementa de manera significativa en ambos experimentos ($p<0.05$) pero no existen diferencias significativas entre ambos ($p=0.48$) (Figura 27).

2.4. Realizados durante y posteriormente al ejercicio

En este estudio realizado en jugadores de fútbol Australiano (n=70)⁷⁰, se realiza un programa de intervención basado en estiramientos estáticos-activos en estado de fatiga muscular de 15 s de duración (una sola repetición), además de entrenamiento anaeróbico interválico de alta intensidad y ejercicios específicos del deporte. Con la intervención del estudio se reduce de manera significativa ($p<0.045$) el número de atletas lesionados (isquiotibial) en las dos temporadas de intervención (dos y cuatro) respecto a las dos primeras temporadas de referencia (nueve y once) y así como se consigue

una disminución significativa ($p < 0.001$) de los días de competición perdidos entre las dos temporadas de intervención y las dos iniciales (5 y 16 vs 31 y 38). Asimismo, la incidencia de lesiones en los partidos se reduce significativamente ($p = 0.012$; 1.3 vs 4.7 por cada 1000h de partido), mientras que la reducción no es significativa ($p = 0.29$) en la incidencia en los entrenamientos (0.7 vs 1.7 por cada 1000 semanas) (Figura 28).

DISCUSIÓN

1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Esta revisión bibliográfica de la literatura científica actual determina una falta de consenso para la prescripción de estiramientos musculares con el objetivo de prevenir lesiones musculares, de modo que los estudios analizados que investigan el efecto de los estiramientos previos al ejercicio muestran resultados dispares y los estudios centrados en su realización posterior al esfuerzo indican la ineffectividad de los estiramientos para cumplir este fin. Por el contrario, las investigaciones focalizadas en el estudio de los estiramientos realizados tanto previa como posteriormente a la actividad muestran en su gran mayoría la efectividad de los mismos para prevenir lesiones musculares.

Respecto a los tipos y duración de los estiramientos empleados en los estudios analizados, nueve estudios centran sus investigaciones en la aplicación del estiramiento estático pasivo^{32,61,62,63,65-69}, con una duración del estiramiento variable entre 15 y 30 segundos (mayoritariamente 30 s) y con un número de repeticiones dispar – una, dos, tres, cuatro o diez repeticiones. Estos estudios reflejan la variabilidad de resultados acerca de la realización de estiramientos para prevenir lesiones del tejido muscular: cinco estudios obtienen resultados positivos^{32,61,65,68} y cuatro negativos^{63,66,67,69}. El resto de investigaciones aplican el estiramiento de PNF o derivados (contracción-relajación)^{60,62,64} – con una fase estática de mantenimiento de 15 a 30 segundos – y la técnica de estática activa^{64,70}. En su mayoría, estas modalidades de estiramiento muestran resultados positivos.

Las variables de estudio analizadas se centran en tres grandes grupos: el porcentaje de lesiones musculares respecto al total de lesiones^{32,61,64,68}, el índice de lesiones musculares cada 1000h de exposición (o índice de lesiones al año o cada 1000 semanas)^{60,62,65,70} y la valoración del dolor muscular – principalmente la Escala Visual Analógica (1-10)^{65-67,69} y además la escala de Likert (1-7)⁶³ – y la concentración de creatina quinasa en plasma (CQP)^{67,69}. Los estudios focalizados en la proporción de lesiones musculares así como en la incidencia lesional muscular demuestran en su amplia mayoría resultados beneficiosos de la práctica de estiramientos para la prevención de lesiones musculares. En cambio, las investigaciones que centran sus estudios en la valoración del dolor muscular y CQP obtienen resultados negativos que sugieren la ineffectividad de los estiramientos musculares.

Asimismo, gran parte de los estudios revisados centran directamente su estudio en el tejido y la lesión muscular: cuatro estudios analizan la musculatura isquiotibial^{60,62,66,70}, dos el músculo cuádriceps^{67,69} y dos más diferentes grupos musculares^{61,63}. El resto de estudios analizan de manera indirecta las

lesiones musculares^{32,64,65,68}. Principalmente se estudia la musculatura fásica (o tipo II), por lo que se desconoce el efecto de los estiramientos sobre músculos tónicos.

Examinando las muestras de población de los artículos incluidos, los estudios llevados a cabo con militares indican efectos beneficiosos^{32,68} de los estiramientos, mientras que con población no entrenada los resultados son negativos^{67,69}. Las investigaciones realizadas con jugadores de fútbol^{60,62}, de fútbol Australiano^{63,70} y de fútbol Americano⁶¹ aportan resultados dispares y acentúan la falta de consenso existente.

Finalmente, las limitaciones metodológicas de los estudios se centran en la falta de grupos control^{62,66} así como en la realización de una fase de pre-intervención para utilizar los resultados como control para dichas intervenciones^{60,61,64,70}. Además, ciertos estudios evalúan el efecto de los estiramientos valorando la sensación de dolor muscular^{63,65-67,69}, de manera que se considera, tanto en los estudios como en la revisión actual, esta variable como un indicador de lesión muscular. En varios estudios tienen lugar cambios de grupos^{64,65} que interfieren en los resultados de los mismos y en otros la adherencia al plan de intervención es escasa^{60,64,65}. La falta de aleatorización en la distribución de los grupos^{60-64,67,70} y la realización de múltiples intervenciones, entre las cuales se encuentran los estiramientos, para la obtención de resultados concluyentes son factores limitantes a considerar. Diversos estudios se han realizado en condiciones especiales (laboratorio)^{66,67,69} así como en otros estudios el seguimiento se ha realizado a distancia – vía Internet⁶⁵ o informes^{60,62} – de modo que se interfiere en la extrapolación de los resultados obtenidos. Asimismo, en dos estudios se sugiere que las creencias respecto a los estiramientos y sus efectos subjetivos pueden tergiversar los efectos reales obtenidos^{63,65}. En último lugar, las intervenciones llevadas a cabo en los estudios analizados no han sido “cegadas” ni por parte de los sujetos ni evaluadores del estudio, de manera que en todo momento se conocía la intervención ejecutada^{32,60-70}.

Acorde con los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica realizada, anteriores revisiones sistemáticas sugieren una falta de evidencia para indicar que la realización de estiramientos previos y/o posteriores a la actividad física puedan disminuir el riesgo de lesión muscular y por lo tanto, prevenir la lesión muscular^{6,20,26,28,36,37,39,40,42,43,45,49,57,71,72}.

Sin embargo, en otras revisiones se indica que la realización de estiramientos puede llegar a disminuir la incidencia de lesiones musculares^{41,44}, aunque se necesitan más investigaciones al respecto.

2. EFECTOS Y FISIOLÓGIA DE LOS ESTIRAMIENTOS

2.1. Influencia en las capacidades físicas

La realización de estiramientos estáticos previos al ejercicio puede disminuir el rendimiento en relación a los niveles de fuerza, potencia y agilidad^{6,29,35,71,73}. Además, se sugiere que cuando el estiramiento de un grupo muscular se mantiene más de 90 segundos (p.e. 3 estiramientos de 30 s) la pérdida de rendimiento es mayor que si la duración total es inferior a 90 s. De esta manera, a mayor duración del estiramiento, mayores son los déficits de rendimiento²⁹. Por tanto, se sugiere que el aumento de la compliancia muscular es responsable de la disminución del rendimiento muscular³⁵. No obstante, la realización de este tipo de estiramiento puede mejorar la economía de carrera a causa de una disminución de la viscoelasticidad músculotendinosa que implica, en consecuencia, un descenso en la rigidez muscular. De esta manera, se requiere de menor energía para la ejecución del movimiento⁷³.

En cuanto al estiramiento dinámico (o balístico), la literatura indica que estiramientos dinámicos de corta duración no afectan al rendimiento (fuerza y potencia) y su realización con una mayor duración puede mejorar estos niveles, de modo que este tipo de estiramiento mejora el rendimiento muscular mediante un aumento de la temperatura muscular y corporal, estimulación del sistema nervioso y por medio de las contracciones voluntarias de la musculatura antagonista al estiramiento se consigue una potenciación post-activación del músculo estirado y una disminución en la inhibición de la misma musculatura antagonista²⁹.

Asimismo, se sugiere la realización de estiramientos dinámicos pre-ejercicio en detrimento de los estiramientos estáticos debido a la similitud de movimientos del estiramiento dinámico y los gestos deportivos²⁹.

2.2. Modificaciones mecánicas y sensitivas causadas por los estiramientos

La realización de un estiramiento muscular implica ciertas alteraciones tanto a nivel estructural como sensitivo.

2.2.1. Componente mecánico

Los tres componentes de tejido conectivo intramuscular que conforman el complejo muscular contribuyen a la resistencia pasiva al estiramiento^{4,8,80}. El perimysio se encarga de distribuir la tensión y de prevenir el sobreestiramiento de los fascículos musculares, por lo que se considera el principal elemento del componente elástico en paralelo. Por otra parte, la función del endomisio es transferir la

fuerza del componente contráctil al tendón y al músculo debido a su integración en el componente elástico en serie^{4,80}.

Considerando las propiedades pasivas del músculo y sus modificaciones con los estiramientos, tras la realización de un único estiramiento estático se consigue una relajación de la respuesta viscoelástica de un 30% (Figura 29), pero no se percibe este efecto a los 45 ni a los 60 minutos posteriores. De esta manera, la UMT se comporta de manera viscoelástica por lo que se considera que existe un cambio en las propiedades pasivas musculares posterior a la aplicación de un único estiramiento^{4,6,71,72,75,76}. Esto implica que el estiramiento estático aumenta la compliancia de la UMT^{4,6,29,36,72,73,78,81}. Con la ejecución de varios estiramientos también disminuye la rigidez muscular, pero de la misma manera retoma los valores iniciales al cabo de una hora^{4,71,72,77,78}.

La realización de estiramientos a largo plazo (3-6 semanas) comporta un aumento del rango de movimiento como consecuencia de un cambio en la tolerancia al estiramiento y no de una respuesta viscoelástica^{4,8,29,72,75,79}. Asimismo, se atribuye a una mayor tolerancia al estiramiento la efectividad de distintas técnicas de estiramiento^{4,6,77,79}. Estos resultados se obtienen sea cual sea la técnica de estiramiento escogida ya que se han obtenido resultados similares con la técnica de PNF⁴.

Por ende, los estiramientos estáticos disminuyen la resistencia al estiramiento pero no modifican la rigidez tendinosa, mientras que los estiramientos balísticos no disminuyen significativamente la resistencia pasiva al estiramiento pero proporcionan una disminución de la rigidez del tendón^{72,79}, como respuesta a una adaptación de disposición de las fibras de colágeno a los estímulos aplicados de manera repetida^{6,72,79,81}.

La disminución de la rigidez muscular posterior al estiramiento es el resultado de la adaptación inmediata del CEP a la aplicación de una baja carga. Asimismo, resultados recientes sugieren la posibilidad que la disminución de la rigidez de las estructuras tendinosas también sea por parte del CES^{72,78,81}.

A nivel mecánico, existen distintas teorías que explican las modificaciones que tienen lugar con los estiramientos estáticos. La primera de ellas es el ya comentado comportamiento viscoelástico del músculo, el cual le confiere la capacidad para disminuir progresivamente la resistencia al estiramiento^{6,71,72,74,76,81}. Se relaciona con el fenómeno de *creep* ya que éste se manifiesta cuando, como respuesta a una fuerza constante de estiramiento, aumenta gradualmente la longitud muscular^{6,72,74}.

La deformación plástica del tejido conectivo es otra perspectiva, en la que se requieren altas cargas de estiramiento para que el tejido sobrepase el límite elástico de deformación, de manera que cuando se retira el estiramiento el músculo no regresa a la longitud inicial y se mantiene en una nueva longitud. No obstante, diversos trabajos refutan esta teoría y sugieren que la deformación viscoelástica, a bajas cargas y duraciones prolongadas de estiramiento, es más indicada para promover este cambio plástico del tejido conectivo⁷⁴. Además, desde un punto de vista biomecánico, se sugiere que el estiramiento puede alterar la curva de longitud-tensión y la deformación plástica de los tejidos conectivos de tal manera que puede limitar la capacidad de la UMT para generar fuerza²⁹.

También se observa un aumento de sarcómeros en serie y un aumento de la longitud muscular con protocolos de estiramientos de corta duración (de 3 a 8 semanas), por lo que se sugiere que los estiramientos también modifican la estructura contráctil^{6,8,74}.

Finalmente, la relajación neuromuscular facilitada por el reflejo de estiramiento durante la realización de estiramientos estáticos o de PNF es otro modelo que explica los cambios mecánicos de los estiramientos⁷⁴.

2.2.2. Componente sensitivo

Por otra parte, recientemente se ha puesto de manifiesto una teoría basada en la percepción del estiramiento, fundamentada en que el límite del estiramiento lo indica las sensaciones del sujeto, esto es, inicio de dolor, máximo estiramiento o máximo dolor tolerado; y no el grado de rigidez muscular. Además, se sugiere que si realmente existen cambios estructurales como respuesta al estiramiento, éstos se tendrían que ver reflejados en las curvas de longitud-tensión (Figura 30)^{29,74}.

Tanto es así que a nivel neural existen distintas adaptaciones tras la realización de un estiramiento estático. En primer lugar, el aumento de la compliancia muscular comporta una menor resistencia al estiramiento pasivo y una mayor distensión del músculo, hecho que recibe el nombre de “*stress relaxation*” (o tolerancia al estiramiento)^{6,8,29,35,71,72,81}. Este fenómeno se caracteriza por una pérdida de tensión muscular cuando el músculo es sometido a un estiramiento con una longitud constante y mantenido en el tiempo³⁵. En la misma línea, se sugiere que la actividad de la motoneurona alfa disminuye a causa de la disminución de la activación de los HNM, de la inhibición muscular generada por la disminución de excitabilidad de los OTG y de la activación de los nociceptores (variación de la percepción del dolor)^{6,35}. Además, inmediatamente posterior al estiramiento existe una demora en la respuesta neuromotora. De esta manera, estas adaptaciones neurales pueden implicar un mayor riesgo

de lesión muscular debido a que las estructuras musculares, tendinosas y nociceptores ven disminuidas su sensibilidad^{6,35}.

Por tanto, parece ser que con la realización de estiramientos estáticos se inhiben los mecanismos para mantener la integridad del sistema musculoesquelético y se ve aumentada la tolerancia al estiramiento, hecho que comporta un mayor rango de movimiento e implica mayor riesgo de lesión³⁵.

En cuanto al estiramiento balístico, éste provoca, por medio de la activación de los HNM Ia y II con la consecuente activación de las respectivas motoneuronas alfa, la facilitación del reflejo de estiramiento, causando la contracción del músculo estirado. Se describe que este tipo de estiramiento puede ser perjudicial para las fibras musculares debido a las contracciones musculares reflejas que tienen lugar como respuesta a un estiramiento rápido⁷⁹.

2.2.3. Fisiología muscular en relación al tipo de esfuerzo

Bajo una visión centrada en el funcionamiento y la biomecánica muscular, en la literatura científica se expone que la reducción de la rigidez de la UMT puede disminuir la producción de fuerza de un músculo bajo estiramiento y así protegerlo de lesión^{10,30,72}. Asimismo se sugiere que un incremento en la compliancia del tendón permite una mayor capacidad de absorción de energía por parte de éste, de modo que se puede reducir el riesgo de lesión en actividades con participación del CEA^{6,36,80,81}. Por ello, se propone que el hecho que el tendón pueda absorber mayor energía se refleja en una menor transferencia de energía al aparato contráctil de la UMT y así, reducir el riesgo de lesión^{6,36,37}.

Durante las acciones que requieren del CEA (acciones explosivas), la compliancia de la UMT permite almacenar energía elástica durante la fase excéntrica para liberarla rápidamente en la fase concéntrica^{6,29,36,72}. En cambio, en acciones de predominio concéntrico (sin o con un bajo componente de CEA) en que el músculo es más rígido (y menos compliante), se transfiere con celeridad la energía generada por el trabajo concéntrico a las palancas óseas y se produce el movimiento articular^{6,29,36}.

La función principal del tendón es transferir la fuerza generada por el aparato contráctil hacia la estructura ósea correspondiente. Un tendón rígido (con mala compliancia) permite el desarrollo de movimientos rápidos por su capacidad de responder a cambios rápidos de tensión, debido a que absorbe de manera pobre la energía elástica, por lo que las fuerzas elásticas se transmiten al aparato contráctil del músculo y aumenta la tensión muscular. Sin embargo, en esfuerzos sin o con bajo CEA un estado de rigidez de la UMT y del tendón parece indicado para transferir la fuerza mecánica a las palancas óseas^{36,82}. Por el contrario, en cuanto a acciones con un alto CEA, un tendón compliante (a causa del efecto del estiramiento) absorbe gran cantidad de energía elástica y como consecuencia

disminuye la tensión generada sobre las fibras musculares y la UMT durante movimientos rápidos. Además, la activación muscular se ve retardada y la cantidad de fuerza generada se ve disminuida^{6,72,81}.

Por tanto, el estiramiento estático puede ser efectivo para aumentar la capacidad de reutilizar la energía elástica en ejercicios con presencia de CEA, debido a la disminución de la viscosidad de la estructura tendinosa y al incremento de la compliancia muscular^{29,72,80,81}. Sin embargo, son necesarias futuras investigaciones al respecto en condiciones reales para evaluar el efecto de los estiramientos previos (y posteriores) al esfuerzo y su relación con la incidencia de lesiones musculares³⁶, sin olvidarse del origen multifactorial de las lesiones musculares^{3,45,46}.

3. SOLUCIÓN AL PROBLEMA INICIAL

Como se ha podido comprobar, en la literatura científica no se llega a ningún consenso a la hora de determinar la efectividad de los estiramientos en la prevención de las lesiones musculares, ni realizados previa ni posteriormente al ejercicio físico.

Así pues, con el objetivo de clasificar las diferentes modalidades de estiramiento en función de sus mecanismos de acción sobre la fisiología de la estructura muscular, se pretende establecer qué estiramientos están indicados en su realización previa a la actividad física y qué estiramientos están indicados posteriormente al ejercicio para reducir el riesgo y prevenir las lesiones musculares.

Por ello, tal y como se ha comentado en el presente trabajo, se pueden clasificar los estiramientos según la acción que se realiza y en cómo participa en ésta la estructura muscular, principalmente la UMT. Este razonamiento y clasificación en la utilización de los estiramientos para la prevención de lesiones lo incorporaron Witvrouw *et al.*³⁶. Así pues, la función de la UMT depende de las fuerzas que se generan en base al tipo de actividad. Por una parte, funciona como un resorte de energía elástica en actividades con un alto índice de CEA (p.e. fútbol); por otra parte transforma energía metabólica en energía mecánica en acciones predominantemente de contracción concéntrica (p.e. ciclismo, natación)^{6,36,82}.

3.1. Estiramientos musculares realizados previamente al esfuerzo

Cuando el ejercicio físico requiere de un alto componente de CEA, se requiere una UMT compliante para que posea la capacidad de almacenar gran cantidad de energía elástica durante la fase excéntrica y liberarla en la fase concéntrica del movimiento. Además, el comportamiento de la estructura tendinosa también es importante en este tipo de actividades^{6,36,82}.

Respecto a un ejercicio físico el cual no tiene o tiene un bajo componente de CEA, el trabajo muscular es principalmente concéntrico, de modo que la energía metabólica es transformada con rapidez a energía mecánica y no se requiere la absorción de energía elástica durante estas actividades. La rigidez de la UMT y tendón favorecen este tipo de trabajo muscular^{36,82}.

Recientemente, el mismo grupo de investigadores³⁶ que propuso este tipo de diferenciación en la aplicación de estiramientos previos al ejercicio físico establecieron el uso del estiramiento estático pasivo con la finalidad de conseguir un tejido muscular más compliante (es decir para actividades con alto CEA) mediante la relajación muscular; mientras que sugieren el empleo del estiramiento balístico para conseguir mayor rigidez de la estructura músculotendinosa (esto es para actividades sin o con bajo CEA) por medio de la activación muscular del músculo diana a través del reflejo de estiramiento⁸². Aun así, el mismo grupo de autores también considera que para la realización de estas acciones de bajo CEA no se requiere el uso de estiramientos musculares³⁶.

No obstante, se considera que la utilización del estiramiento estático pasivo en la realización previa a una acción explosiva (CEA) podría ser contraproducente o podría no estar indicada ya que con este tipo de estiramiento se consigue la relajación del músculo por medio de la activación de los OTG y el correspondiente reflejo de inhibición autógena^{6,27}. Pues, se puede aplicar un estiramiento estático en tensión pasiva (o dinámico) para conseguir una mayor compliancia del músculo, con los beneficios añadidos del aumento de la temperatura muscular y del flujo sanguíneo local, la mejora de la coordinación agonista-antagonista y el aumento de la velocidad de transmisión nerviosa^{27,29}. Además, se puede considerar la opción de añadir los estiramientos de tensión activa y los balísticos. En el primer caso, la contracción excéntrica del músculo agonista que supone el estiramiento de tensión activa incide en la UMT y en el HNM, con la activación del reflejo miotático, preparando así al músculo para el tipo de trabajo que realizará posteriormente^{6,27}. La duración no debe exceder los 6 segundos, para así evitar el riesgo de provocar una isquemia vascular arterial^{6,13}. En el segundo caso, se propone el estiramiento balístico por la semejanza con el gesto técnico del deporte, ejercicio o actividad en cuestión²⁷, además de su incidencia en las estructuras elásticas del músculo, UMT^{6,27,72} y en el tendón^{79,80,82} y la activación muscular en posición de estiramiento (reflejo miotático)^{6,27,72}.

A propósito de la aplicación de estiramientos balísticos que proponen Witvrouw *et al.*⁸² previos a una acción sin o con una baja participación de CEA, se considera oportuno su empleo ya que tal y como exponen los mismos autores este tipo de estiramiento puede aportar rigidez a la estructura músculotendinosa para favorecer la contracción concéntrica para un rápido desarrollo del movimiento. Del mismo modo, su similitud con la acción técnica y su incidencia en las estructuras tanto musculares

como tendinosas respaldan su uso^{6,27,72}. Igualmente, se entiende que la utilización del estiramiento estático activo (o dinámico) de corta duración (usado en el caso anterior) puede ser de utilidad en este tipo de acciones de predominio concéntricas puesto que implica un estímulo al tejido muscular al incrementar la temperatura muscular y el flujo sanguíneo local, mejorar la coordinación agonista-antagonista y aumentar la velocidad de transmisión nerviosa^{27,29}. Finalmente, si el desarrollo de un movimiento o actividad concreta requiere de una ganancia de amplitud de movimiento previa al ejercicio físico, se especula la incorporación del estiramiento de PNF debido a que puede facilitar una mejoría en el rango de movimiento por medio de la inhibición muscular post-isométrica (HNM y OTG)⁶ y de la disminución de la viscoelasticidad del tejido^{6,38}. Con este objetivo, el estiramiento de PNF es más factible que el estiramiento estático pasivo por el hecho que el músculo preserva una capacidad de activación muscular más rápida tras el estiramiento y la pérdida de la máxima contracción voluntaria es menor en comparación con el estiramiento estático pasivo⁸³; el estiramiento estático pasivo implica también una pérdida de la coordinación entre la musculatura agonista y antagonista²⁷. Otro factor a favor de este estiramiento (PNF) es la activación de los propioceptores que facilitan el control dinámico articular^{14,83}.

Por consiguiente, se propone la siguiente clasificación de estiramientos para su ejecución previa a acciones que requieran un alto componente de CEA o bien una baja o nula participación del CEA (Tabla 11).

3.2. Estiramientos musculares realizados posteriormente al esfuerzo

Por otra parte, en la realización de estiramientos musculares posteriores al ejercicio no existe mucha evidencia al respecto pero se plantea la aplicación de estiramientos estáticos en tensión pasiva (o dinámicos), estáticos pasivos o bien de PNF. En el trabajo de Pacheco y Tirado⁶, se propone la utilización de estiramientos estáticos pasivos y estáticos en tensión pasiva en declive a partir de la finalización de la actividad hasta las 2 horas posteriores con el fin de normalizar el tono y la fatiga muscular y el estado basal; y la realización de estiramientos estáticos pasivos y de PNF desde las 2h hasta las 72h posteriores al esfuerzo para, del mismo modo, disminuir y normalizar el estado muscular y neurovegetativo. Adicionalmente, se sugiere la propuesta de estiramientos dinámicos de 6 a 10 segundos de duración por su incidencia a nivel mecánico en el sarcómero y tejido conjuntivo y a nivel sensitivo en los HNM con la facilitación del reflejo de inhibición recíproca y por el aporte de flujo sanguíneo a la zona^{6,27} que puede ayudar a la restitución del estado basal muscular⁶. El estiramiento estático pasivo (30-45 segundos de duración)⁴ también hace hincapié en las mismas estructuras mecánicas y a nivel neural actúa a nivel de los OTG por medio del reflejo de inhibición autógena para

disminuir el tono y disminuir la rigidez muscular^{6,27}. En último lugar, el estiramiento de PNF puede ser factible para normalizar el tono muscular a través de la disminución de la respuesta viscoelástica del tejido muscular y de la inhibición post-isométrica de los HNM y OTG^{14,36,38}. En esta fase de vuelta a la calma también es importante considerar la realización de ejercicio rítmico aeróbico para activar el sistema de bomba muscular con el objetivo de mejorar la irrigación y lavado activo del músculo⁶.

Por tanto, a continuación se expone un resumen de la aplicación de estiramientos posteriores al esfuerzo físico (Tabla 12).

CONCLUSIONES

La revisión de la evidencia científica actual muestra una falta de unanimidad para determinar la efectividad de los estiramientos musculares en la prevención de lesiones musculares, tanto en su realización previa como posterior a la actividad física. Es importante destacar la influencia de las limitaciones metodológicas de los estudios seleccionados en el resultado final de la revisión realizada. Además, la literatura científica respecto a esta área de la prevención es reducida, mientras que las evidencias en relación a la flexibilidad y la prevención de lesiones musculares son más extensas, pudiendo generar otras líneas de investigación de interés.

A pesar de los datos presentados, la práctica de estiramientos musculares previa y/o posterior al esfuerzo puede ser de utilidad si se tiene en consideración, por una parte, el tipo de actividad que se realiza y sus requerimientos a nivel muscular y por otra parte, los mecanismos de acción de los estiramientos y su incidencia en las estructuras mecánicas, nerviosas y vasculares. De este modo, se propone una clasificación de las diferentes modalidades de estiramiento ejecutadas antes y después del esfuerzo con la finalidad de prevenir lesiones del tejido muscular. Asimismo, futuras investigaciones de calidad en este ámbito son necesarias para confirmar las situaciones planteadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Järvinen TAH, Järvinen TLN, Kääriäinen M, Kalimo H, Järvinen M. Muscle injuries: biology and treatment. *Am. J. Sports Med.* 2005;33(5):745–64.
2. Lorenz T, Campello M. Biomecánica del músculo esquelético. En: Nordin M, Frankel VH. En: *Biomecánica Básica del Sistema Musculoesquelético*, 2ª ed. España: McGraw-Hill Interamericana; 2004. p. 152–78.
3. Balias Matas R, Pedret Carballido C. Lesiones musculares en el deporte. Madrid: Médica Panamericana; 2013.
4. Magnusson SP. Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 1998;8(2):65–77.
5. Gillies AR, Lieber RL. Structure and function of the skeletal muscle extracellular matrix. *Muscle Nerve.* 2011;44(3):318–31.
6. Pacheco L, Tirado JG. Sobre la aplicación de estiramientos en el deportista sano y lesionado. *Apunts Med Esport.* 2010;45(166):109–25.
7. Chicharro JL, Fernández Vaquero A. Fisiología del Ejercicio. 3ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2006.
- 8 Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin. Biomech.* 2001;16(2):87–101.
9. Esnault M, Viel E. Stretching. Estiramientos de las cadenas musculares. 2.ª ed. Barcelona: Masson; 2003.
10. Garrett WE. Muscle strain injuries. *Am. J. Sports Med.* 1996;24(6 Suppl):S2–8.
11. De Deyne PG. Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Phys. Ther.* 2001;81(2):819–27.
12. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part 1: the physiological basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training* 2002;37(1):71–7.
13. Neiger H. Estiramientos analíticos manuales. Técnicas pasivas. Madrid: Panamericana; 1998.

14. Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: mechanisms and clinical implications. *Sports Med.* 2006;36(11):929–39.
15. Mueller-Wohlfahrt H-W, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. *Br. J. Sports Med.* 2013;47(6):342–50.
16. Petersen J, Hölmich P. Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *Br. J. Sports Med.* 2005;39(6):319–23.
17. Arnason A. ¿Cuál es la evidencia científica en los programas de prevención de la lesión muscular?. *Apunts Med Esport.* 2009;64:174-8.
18. Rodas G, et al. Guia de Pràctica Clínica de les lesions musculars. Epidemiologia, diagnòstic, tractament i prevenció. *Apunts Med Esport.* 2009;44:179-203.
19. Chan O, Del Buono A, Best TM, Maffulli N. Acute muscle strain injuries: a proposed new classification system. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2012;20(11):2356–62.
20. Herbert RD, de Noronha M, Kamper SJ. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane database Syst. Rev.* 2011;(7):CD004577.
21. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* 2003 Jan;33(2):145–64.
22. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, Andersen TE, Bahr R, Dvorak J, et al. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Br. J. Sports Med.* 2006;40(3):193–201.
23. Diccionario esencial de la lengua española [Internet]. Madrid: Real Academia Española; 2006 [consulta el 15 de enero de 2014]. Disponible a: <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/desen>
24. Esnault M. Estiramientos analíticos en fisioterapia activa. Barcelona: Masson; 1994.
25. Anderson B. Estirándose. Barcelona: Integral; 1989.
26. Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-Up and Stretching in the Prevention of Muscular Injury. *Sports Med.* 2007;37(12):1089–99.

27. Ayala F, Sainz de Baranda P, Cejudo A. El entrenamiento de la flexibilidad: técnicas de estiramiento. *Rev Andaluza Med del Deport.* 2012;5(3):105–12.
28. Thacker SB, Gilchrist J, Stroup DF, Kimsey CD. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(3):371–8.
29. Behm DG, Chaouachi A. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(11):2633–51.
30. Whatman C, Knapstein A, Hume P. Acute changes in passive stiffness and range of motion post-stretching. *Phys Ther Sport.* 2006;7(4):195–200.
31. Page P. Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation. *Int J Sports Phys Ther.* 2012;7(1):109–19.
32. Amako M, Oda T, Masuoka K, Yokoi H, Campisi P. Effect of static stretching on prevention of injuries for military recruits. *Mil Med.* 2003;168(6):442–6.
33. Viel E. El método Kabbat. Madrid: Masson; 1989.
34. Carvalho FLP, Carvalho MCGA, Simão R, Gomes TM, Costa PB, Neto LB, et al. Acute effects of a warm-up including active, passive, and dynamic stretching on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 2012;26(9):2447–52.
35. Rubini EC, Costa ALL, Gomes PSC. The effects of stretching on strength performance. *Sports Med.* 2007;37(3):213–24.
36. Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L, McNair P. Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med.* 2004;34(7):443–9.
37. Weldon SM, Hill RH. The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of the literature. *Man Ther.* 2003;8(3):141–50.
38. Proske U, Morgan DL. Do cross-bridges contribute to the tension during stretch of passive muscle? *J. Muscle Res. Cell Motil.* 1999;20(5-6):433–42.
39. Shrier I. Stretching before exercise: an evidence based approach. *Br. J. Sports Med.* 2000;34(5):324–5.

40. Yeung EW, Yeung SS. A systematic review of interventions to prevent lower limb soft tissue running injuries. *Br. J. Sports Med.* 2001;35(6):383–9.
41. McHugh MP, Cosgrave CH. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2010;20(2):169–81.
42. Andersen JC. Stretching before and after exercise: effect on muscle soreness and injury risk. *J. Athl. Train.* 40(3):218–20.
43. Shrier I. Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clin. J. Sport Med.* 1999;9(4):221–7.
44. Small K, Mc Naughton L, Matthews M. A systematic review into the efficacy of static stretching as part of a warm-up for the prevention of exercise-related injury. *Res. Sports Med.* 2008;16(3):213–31.
45. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br. J. Sports Med.* 2005;39(6):324–9.
46. Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med.* 1992;14(2):82–99.
47. Chalmers DJ. Injury prevention in sport: not yet part of the game? *Inj. Prev.* 2002;8(Suppl IV):iv22–iv25.
48. Murphy DF. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br. J. Sports Med.* 2003;37(1):13–29.
49. Hart L. Effect of stretching on sport injury risk: a review. *Clin. J. Sport Med.* 2005;15(2):113.
50. Hartig DE, Henderson JM. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am. J. Sports Med.* 27(2):173–6.
51. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am. J. Sports Med.* 31(1):41–6.
52. Pope R, Herbert R, Kirwan J. Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits. *Aust. J. Physiother.* 1998;44(3):165–72.

53. Ekstrand J, Gillquist J, Liljedahl SO. Prevention of soccer injuries. Supervision by doctor and physiotherapist. *Am. J. Sports Med.* 1983;11(3):116–20.
54. Worrell TW, Perrin DH, Gansneder BM, Gieck JH. Comparison of isokinetic strength and flexibility measures between hamstring injured and noninjured athletes. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 1991;13(3):118–25.
55. Verrall GM, Árnason Á, Bennell K. Preventing hamstring injuries. En: Bahr R, Engebretsen L, editors. *Sports Injury Prevention, IOC Handbook of Sports Medicine and Science*. Wiley-Blackwell; 2009. p 72-90.
56. Bahr R, Mæhlum S. *Lesiones Deportivas: Diagnóstico, tratamiento y rehabilitación*. Madrid: Médica Panamericana; 2007.
57. Goldman EF, Jones DE. Interventions for preventing hamstring injuries. *Cochrane database Syst. Rev.* 2010;(1):CD006782.
58. Freckleton G, Pizzari T. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2013;47(6):351–8.
59. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health* 1998;52:377–84.
60. Arnason A, Andersen TE, Engebretsen L, Bahr R: Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports*. 2008,18(1):40-48.
61. Cross KM, Worrell TW. Effects of a static stretching program on the incidence of lower extremity musculotendinous strains. *Journal of Athletic Training* 1999;34:11–4.
62. Dadebo B, White J, George K. A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *British Journal of Sports Medicine* 2004, 38(4):388.
63. Dawson B, Gow S, Modra S, Bishop D, Stewart G. Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 h. *J Sci Med Sport* 2005 ;8: 210–21.
64. Hadala M, Barrios C. Different strategies for sports injury prevention in an America's Cup yachting crew. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2009;41(8):1587–96.

65. Jamtvedt G, Herbert RD, Flottorp S, Odgaard-Jensen J, Havelsrud K, Barratt A, et al. A pragmatic randomised trial of stretching before and after physical activity to prevent injury and soreness. *British Journal of Sports Medicine* 2010; Vol. 44, issue 14:1002–9.
66. Johansson PH, Lindstrom L, Sundelin G, Lindstrom B. The effects of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 1999; 9: 219-225.
67. Lund H, Vestergaard-Poulsen P, Kanstrup I-L, Sejrsen P. The effects of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 1998; 8: 2 16-21.
68. Pope RP, Herbert RD, Kirwan JD, Graham BJ. A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 271–277.
69. Torres R, Pinho F, Duarte JA, Cabri JMH. Effect of single bout versus repeated bouts of stretching on muscle recovery following eccentric exercise. *J. Sci. Med. Sport.* 2013;16(6):583–8.
70. Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG. The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *Br. J. Sports Med.* 2005;39(6):363–8.
71. Magnusson P, Renström P. The European College of Sports Sciences Position statement: The role of stretching exercises in sports. *Eur J Sport Sci.* 2006;6(2):87–91.
72. Stojanovic MD, Ostojic SM. Stretching and injury prevention in football: current perspectives. *Res Sports Med.* 2011;19(2):73–91.
73. Shrier I. Does Stretching Improve Performance? *Clin J Sport Med.* 2004;14(5):267–73.
74. Weppeler CH, Magnusson SP. Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Physical Therapy.* 2010;90:438-449.
75. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Sørensen H, Kjær M. A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J Physiol.* 1996;497(1):291–8.
76. Magnusson SP, Simonsen EB, Dyhre-Poulsen P, Aagaard P, Mohr T, Kjaer M. Viscoelastic stress relaxation during static stretch in human skeletal muscle in the absence of EMG activity. *Scand J Med Sci Sport.* 1996;6(6):323–8.

77. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Boesen J, Johannsen F, Kjaer M. Determinants of musculoskeletal flexibility: Viscoelastic properties, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scand J Med Sci Sport*. 1997;7(4):195–202.
78. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Kjaer M. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *Am J Sports Med*. 1996;24(5):622–8.
79. Mahieu NN, McNair P, De Mynck M, Stevens V, Blanckaert I, Smits N, et al. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(3):494–501.
80. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*. 2002;92(2):595–601.
81. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*. 2001;90(2):520–7.
82. Witvrouw E, Mahieu N, Roosen P, McNair P. The role of stretching in tendon injuries. *Br J Sports Med*. 2007;41(4):224–6.
83. Minshull C, Eston R, Bailey A, Rees D, Gleeson N. The differential effects of PNF versus passive stretch conditioning on neuromuscular performance. *Eur J Sport Sci*. 2013;14(3):233–41.

ANEXOS

1. FIGURAS

Figura 1. Estructura y organización del músculo esquelético⁵.

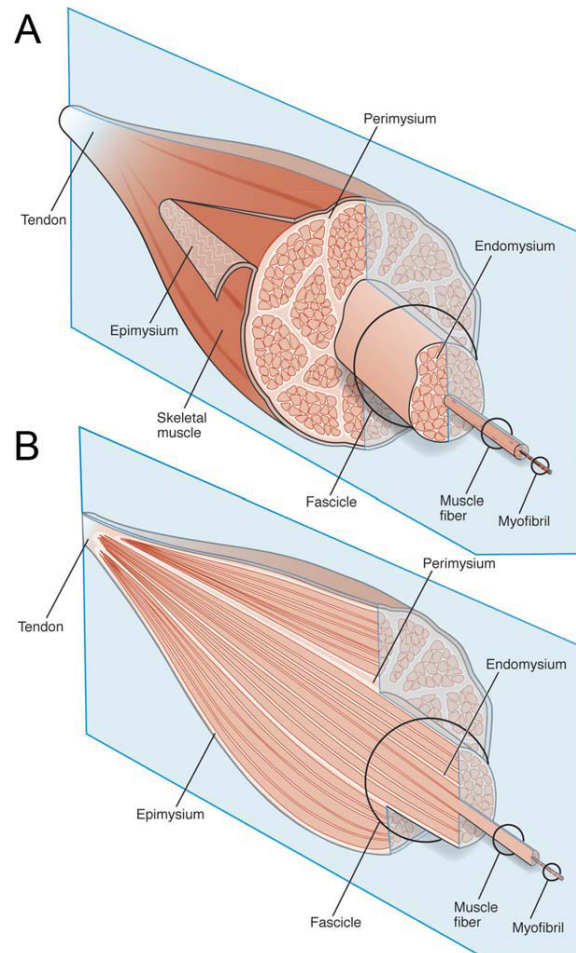


Figura 2. Modelo mecánico de Hill de la unión músculo-tendinosa. CC: *componente contráctil*, CEP: *componente elástico en paralelo*, CES: *componente elástico en serie*².

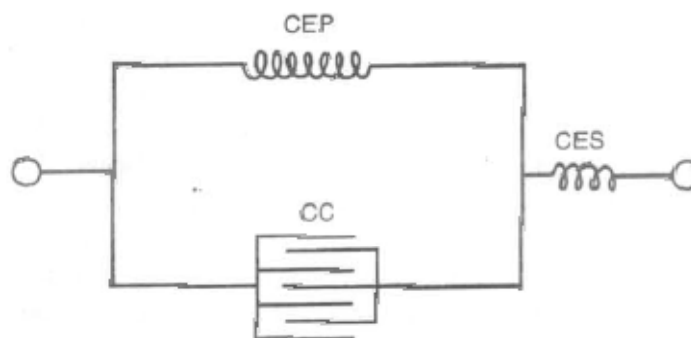


Figura 3. Representación esquemática de los componentes contráctiles y elásticos del músculo esquelético⁷.

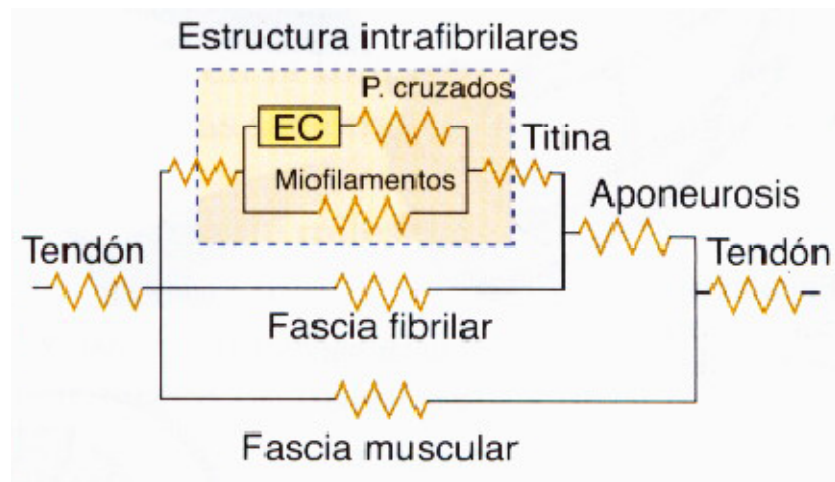


Figura 4. Sarcómero, unidad funcional y sus elementos⁷.

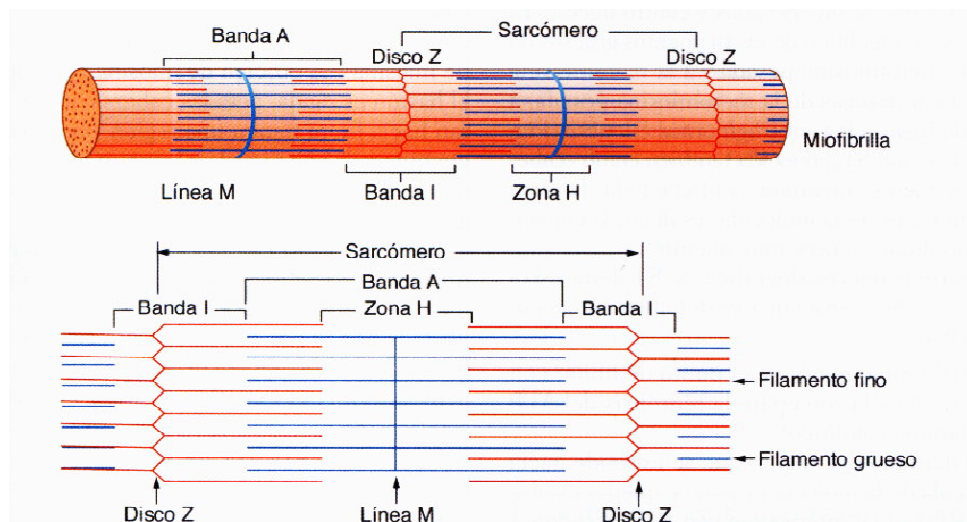


Figura 5. Unidades motoras⁷.

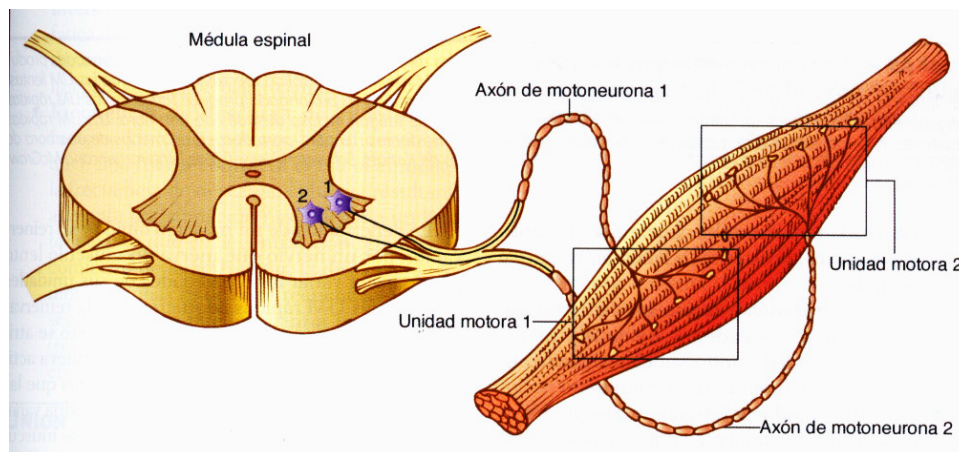


Figura 6. Estructura del huso neuromuscular⁷.

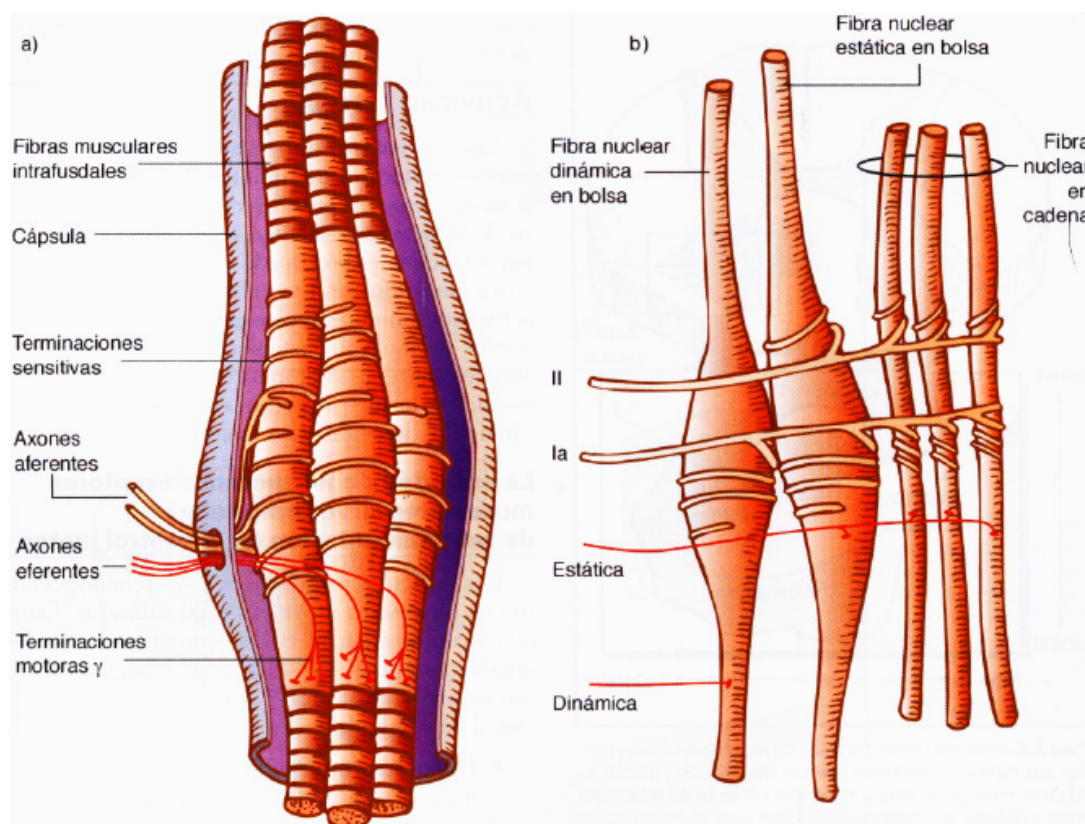


Figura 7. Modificación de la estructura del sarcómero en la contracción muscular⁷.

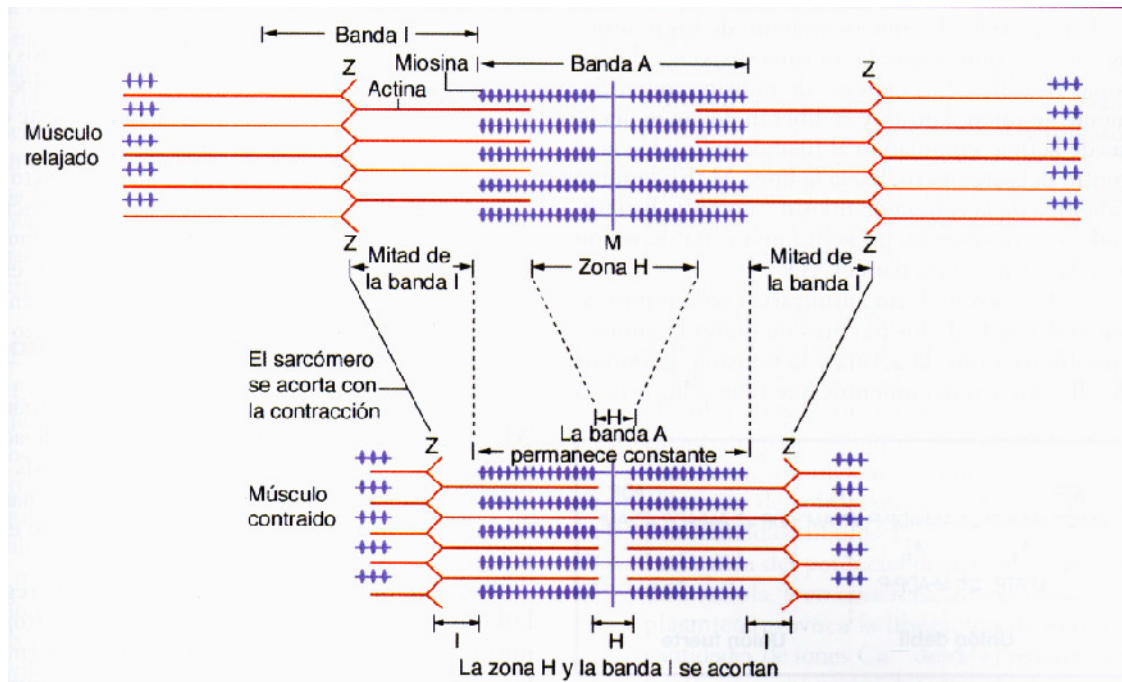


Figura 8. Diferentes tipos de contracciones musculares⁷.

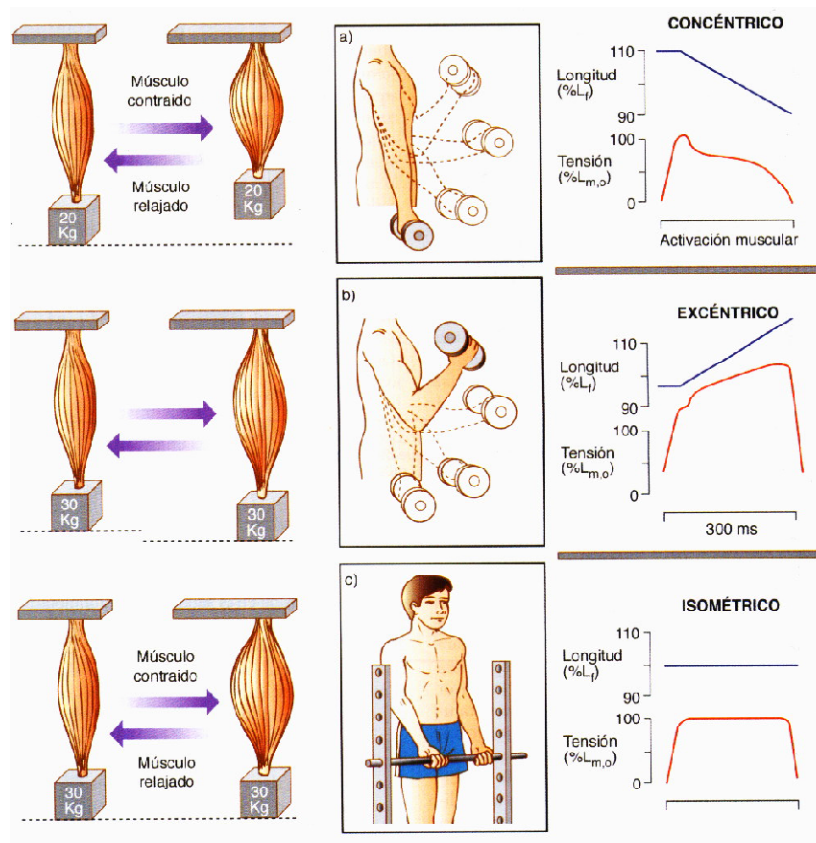


Figura 9. Reflejo miotático o de estiramiento⁷.

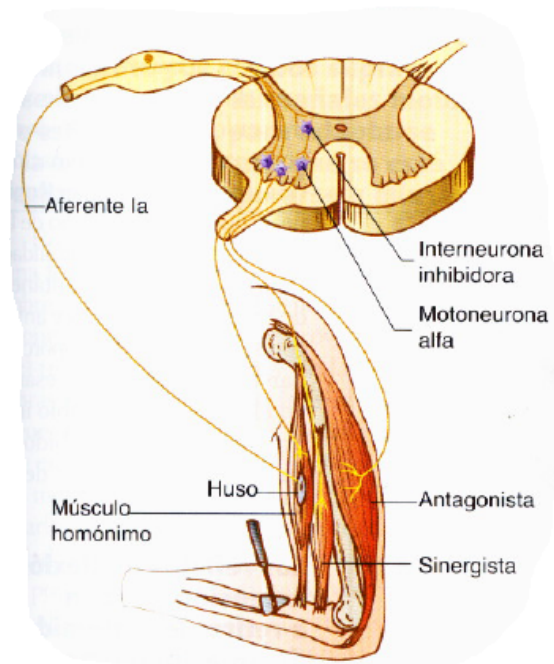


Figura 10. Reflejo miotático inverso⁷.

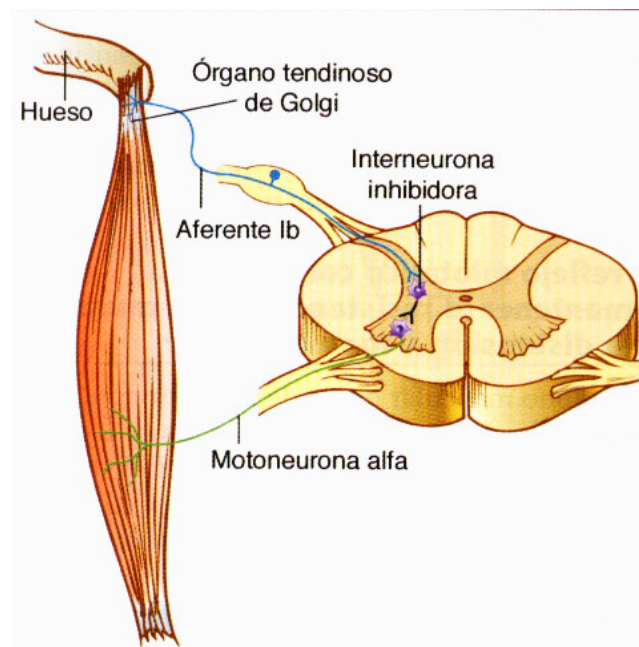


Figura 11. Mecanismo de lesión muscular por estiramiento (curva longitud-tensión)¹⁰.

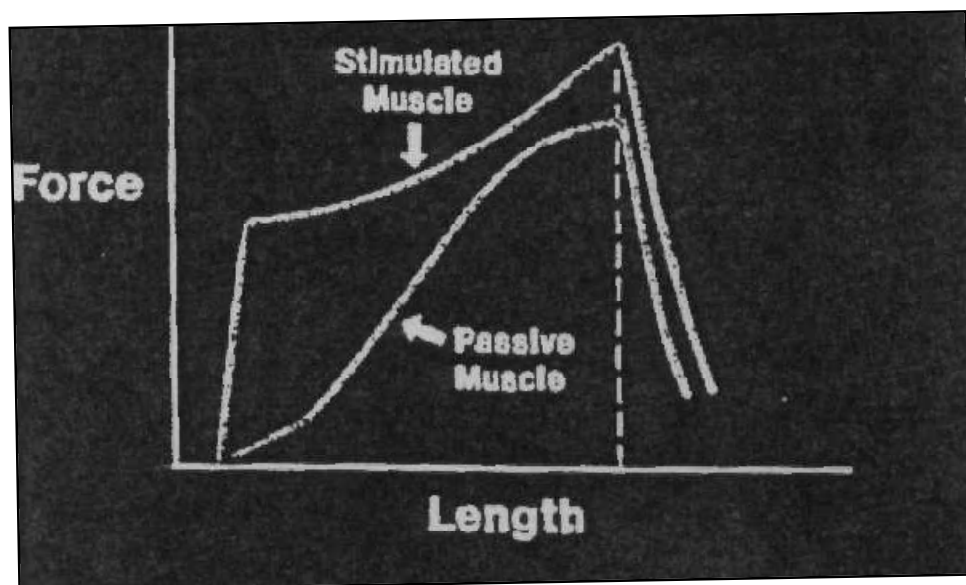


Figura 12. Clasificación de las lesiones musculares por mecanismo de producción⁶.

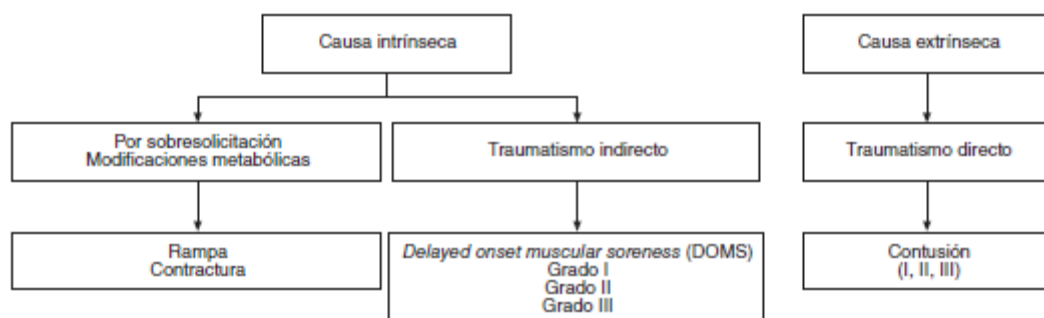


Figura 13. Representación gráfica de una ruptura muscular menor o moderada en base a la estructura anatómica afectada¹⁵.

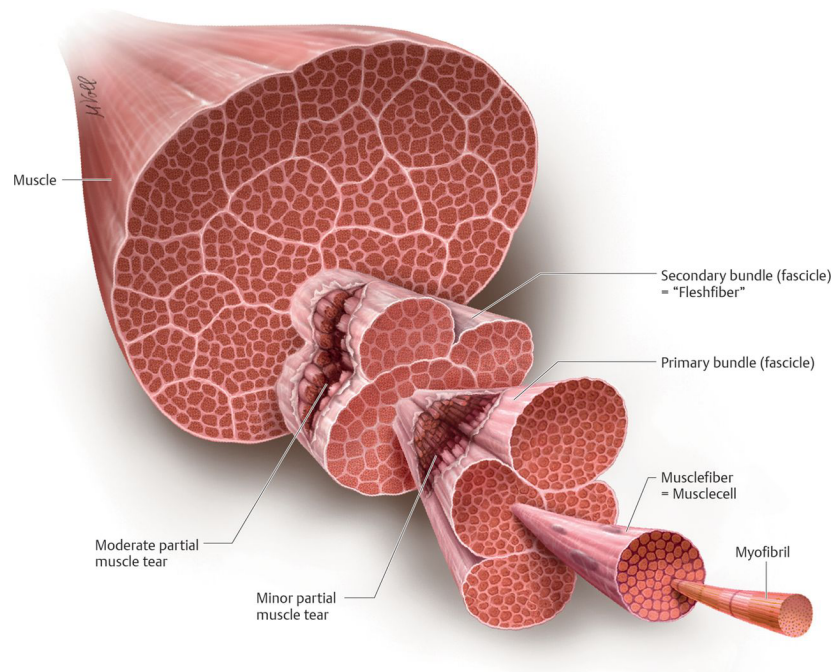


Figura 14. Mecanismo del reflejo miotático inverso (o inhibición autógena) en el estiramiento de FNP¹⁴.

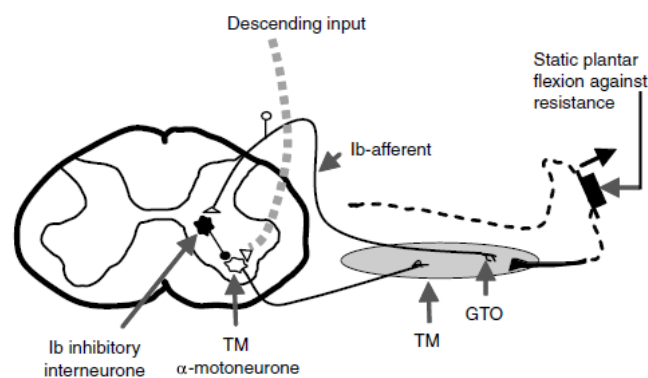


Fig. 1. The mechanism by which autogenic inhibition is purported to contribute to proprioceptive neuromuscular facilitation efficacy. A voluntary static plantar flexion is performed against resistance while the musculotendinous unit (MTU) is on stretch. The plantar flexion developed via descending drive and the existing level of MTU stretch result in an increased firing of tension-sensing mechanoreceptors (Golgi tendon organs [GTOs]) within the same muscle. Increased inhibition from Ib-inhibitory interneurons, a result of the amplified GTO input, results in a reduced level of excitability of the homonymous target muscle (TM), thereby facilitating additional stretch.

Figura 15. Mecanismo del reflejo miotático (o inhibición recíproca) en el estiramiento de FNP¹⁴.

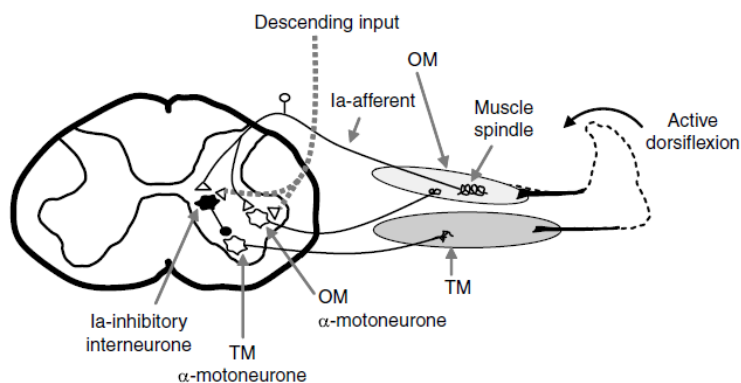


Fig. 2. The mechanism by which reciprocal inhibition is purported to contribute to proprioceptive neuromuscular facilitation efficacy. A shortening contraction of the dorsiflexors (the opposing muscles [OM]) results from descending input onto the OM α -motoneurone. In addition to exciting the OM, descending input and the OM Ia-afferent branch to excite the Ia inhibitory motoneurone. The consequent inhibitory input onto the target muscle (TM) α -motoneurone reduces the activation levels within the same muscle, thereby facilitating additional stretch.

Figura 16. Representación esquemática de las estructuras que inciden en el estiramiento⁶.



Figura 17. Esquema de la relación entre los factores intrínsecos, factores extrínsecos y la situación desencadenante que conducen a la lesión⁴⁵.

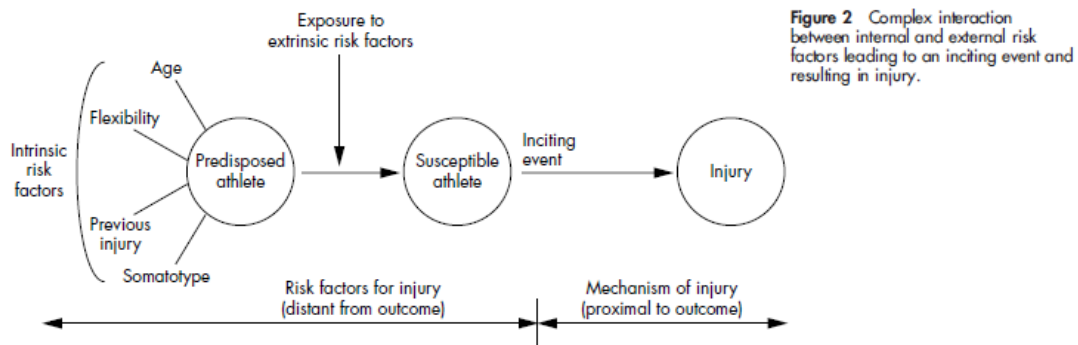


Figura 18. Modelo integral de la causa de lesiones deportivas⁴⁵.

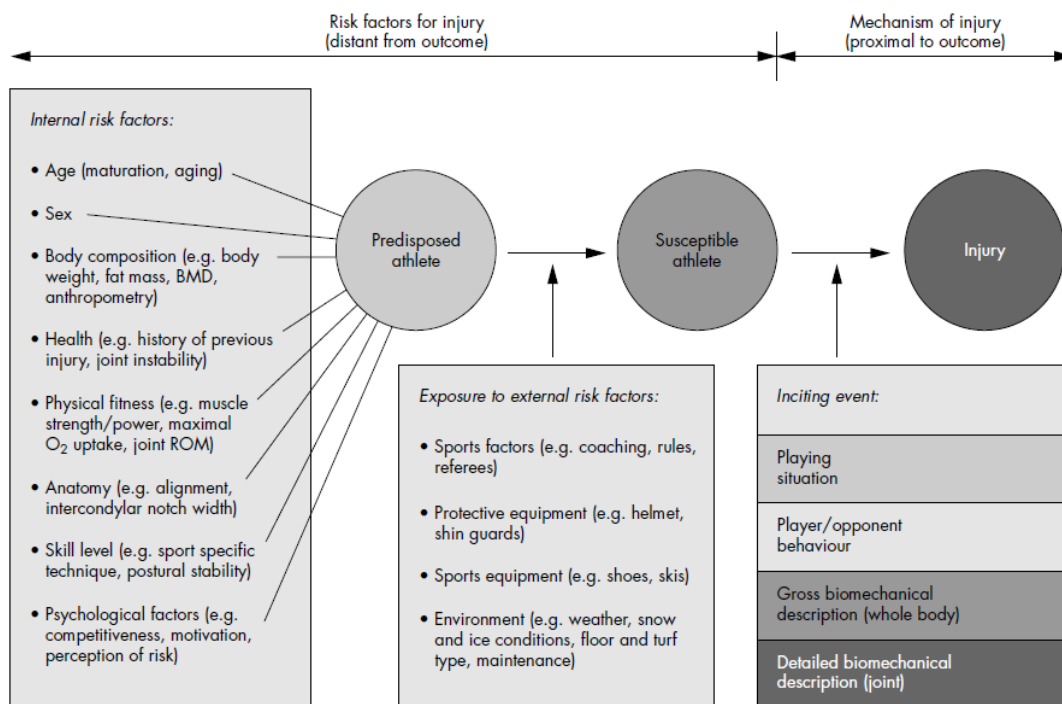


Figure 3 Comprehensive model for injury causation. BMD, Body mass density; ROM, range of motion.

Figura 19. Diseño del estudio⁶⁰.

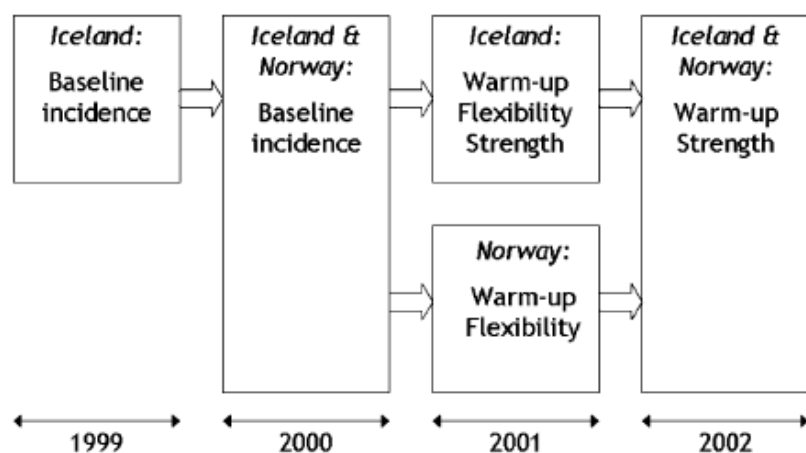


Fig. 1. Study design.

Figura 20. Resultados del estudio⁶⁰.

Prevention of hamstring strains in soccer

Table 1. Exposure, number and incidence of hamstring strains in Iceland and Norway 1999–2002 (training and matches combined)

	No. of teams	Exposure (h)	Hamstring strains (N)	Incidence (strains/1000 h)
1999				
Iceland	17	33 258	30	0.90 ± 0.16
2000				
Iceland	15	28 887	33	1.14 ± 0.20
Norway	14	65 313	34	0.52 ± 0.09
2001				
Iceland	16	36 193	26	0.72 ± 0.14
Norway	14	74 306	33	0.44 ± 0.08
2002				
Iceland	10	19 538	7	0.36 ± 0.14
Norway	14	74 758	20	0.27 ± 0.06

Figura 21. Gráficos de los resultados del estudio⁶⁶.

Johansson et al.

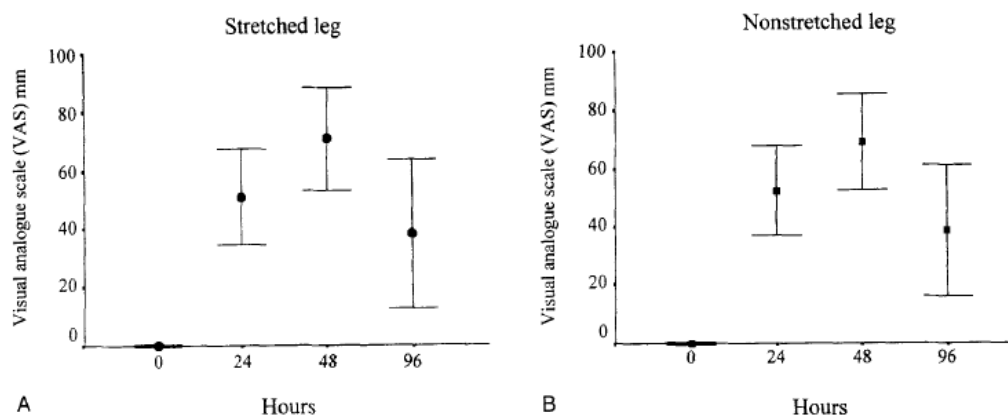


Fig 3. a. Subjective soreness rated on the visual analogue scale (VAS) for the various experimental time periods for the stretched leg. The means and SD for 10 subjects are shown. b. Subjective soreness rated on the visual analogue scale (VAS) for the various experimental time periods for the nonstretched leg. The means and SD for 10 subjects are shown.

Figura 22. Gráfico de los resultados del estudio⁶⁹.

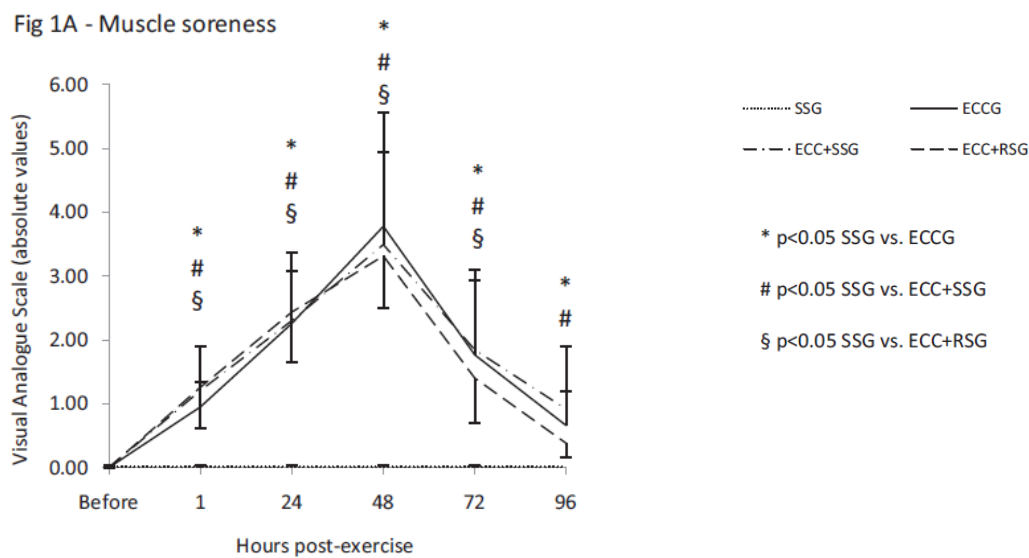


Figura 23. Gráfico de los resultados del estudio⁶⁹.

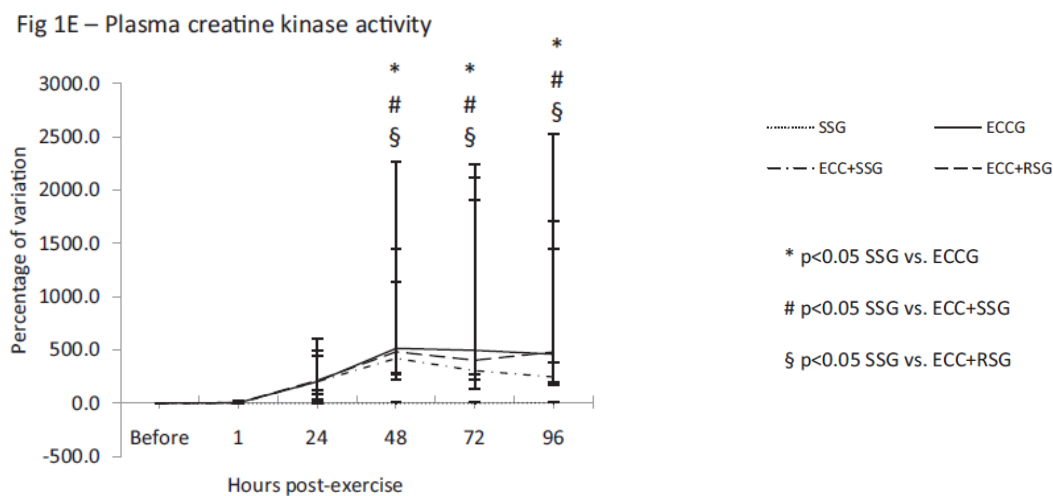


Figura 24. Gráfico de los resultados del estudio⁶⁴.

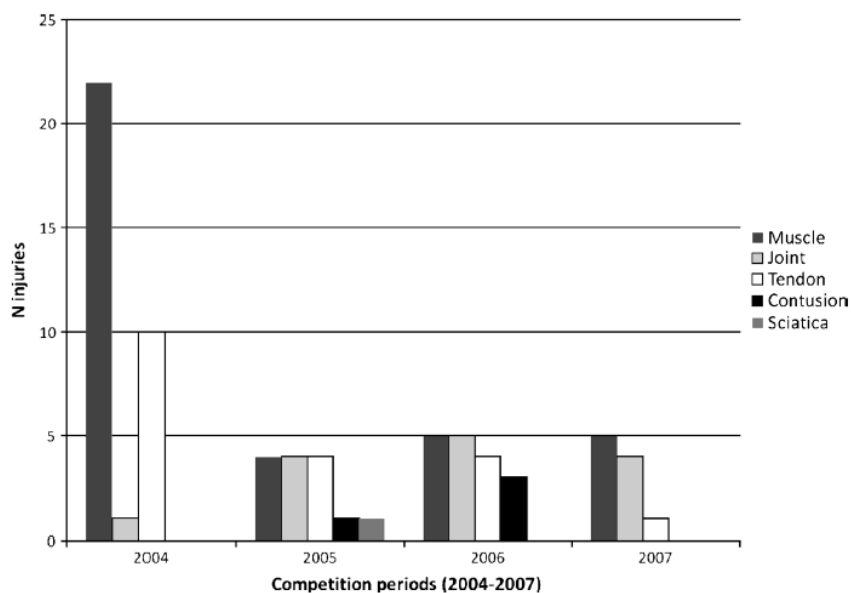


FIGURE 4—Injury type in different competition periods (2004–2007).

Figura 25. Gráfico de los resultados del estudio⁶⁴.

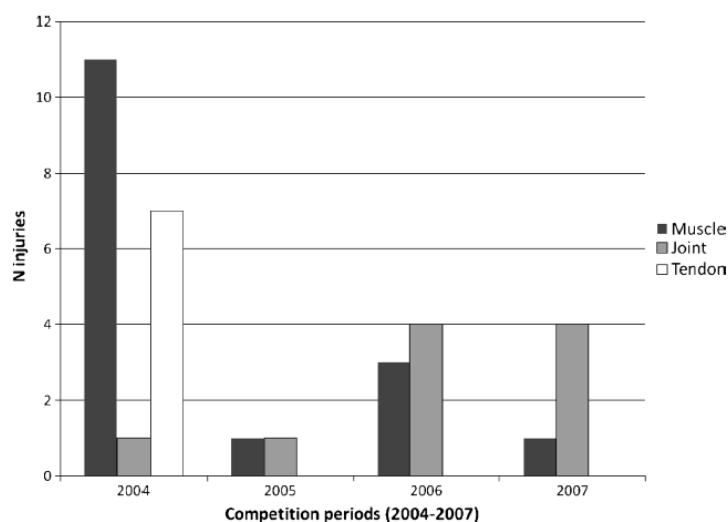


FIGURE 9—Clinical injury type in grinders in different competition periods (2004–2007).

Figura 26. Gráfico de los resultados del estudio⁶⁷.

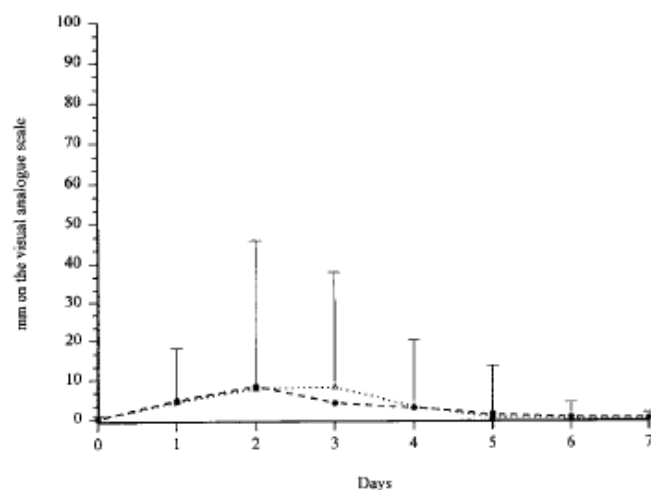


Fig. 2. Subjective muscle pain reported on a visual analogue scale (presented as mm) before and for seven days after eccentric exercise alone (experiment I ●) and eccentric exercise and stretching combined (experiment II Δ). The values are median (range) of the experienced pain during rest, walking and walking downstairs. The maximum pain score was 48 h after exercise, and all subjects reported pain on day 3 in both experiments, thus no difference between eccentric exercise alone (exp. I) and eccentric exercise and stretching combined (exp. II).

Figura 27. Gráfico de los resultados del estudio⁶⁷.

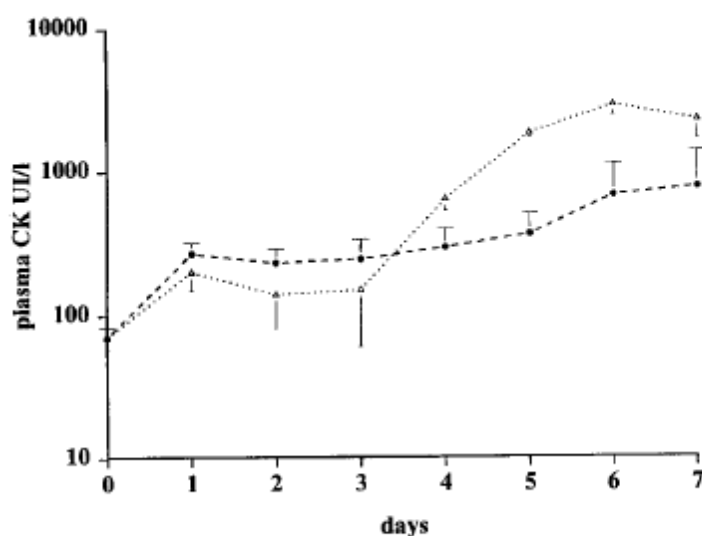


Fig. 1. Changes in plasma creatine kinase following eccentric exercise alone (experiment I ●) and eccentric exercise and stretching combined (experiment II). Values are mean (\pm SEM). All subjects in exp. I and II showed an increasing plasma-CK activity from day 0 to day 1 ($P < 0.05$), but there was no significant difference between exp. I and II ($P = 0.48$). Due to the great interindividual variation, the creatin kinase values are presented on a logarithmic scale.

Figura 28. Tabla con los resultados del estudio⁷⁰.

Table 1 Number of games missed and number of players injured (single team and AFL national competition)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4
Games missed (number)				
Single team	31	38	5	16
AFL teams average	36	37	39	37
Players injured (number)				
Single team	9	11	2	4
AFL teams average	11	12	10	11
Match incidence (single team)	4.4	5.0	1.3	1.3
Training incidence (single team)	1.4	2.2	0	1.4

The AFL lists of players (42, 42, 41, and 43 players, respectively, for the study period) have been converted to a 70 player list. Match incidence is per 1000 player hours, training incidence is per 1000 player weeks. The AFL average for the same time period is match incidence 4.3, training incidence 2.2.

Figura 29. Representación de la disminución de la respuesta viscoelástica tras un estiramiento estático pasivo⁴.

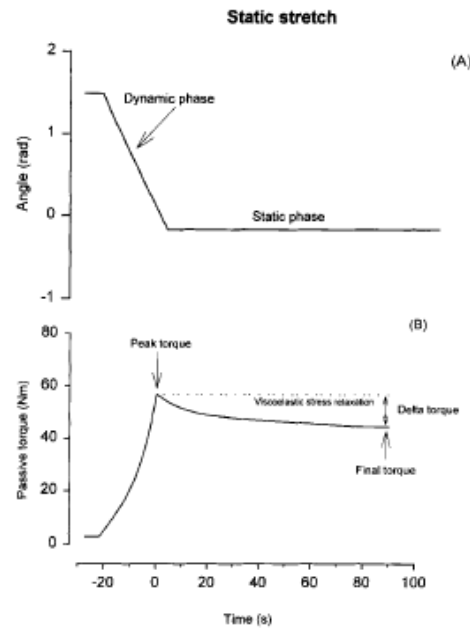


Fig. 2. Graphic representation of a static stretch. (A) The knee angle (rad). In the dynamic phase the leg is passively extended (0.0875 rad/s) to a pre-determined final position. The static phase is when the leg remains stationary in the final position for 90 s. (B) The passive torque about the knee joint during a static stretch. Peak torque is when the knee joint reaches the final position (negative value indicates angles above horizontal, i.e. more knee extension). Final torque is at the end of the 90-s period in the static phase. Delta torque is the difference between peak and final torque expressed as a percentage of peak torque (viscoelastic stress relaxation).

Figura 30. Gráfica de la curva de longitud-tensión⁷⁴.

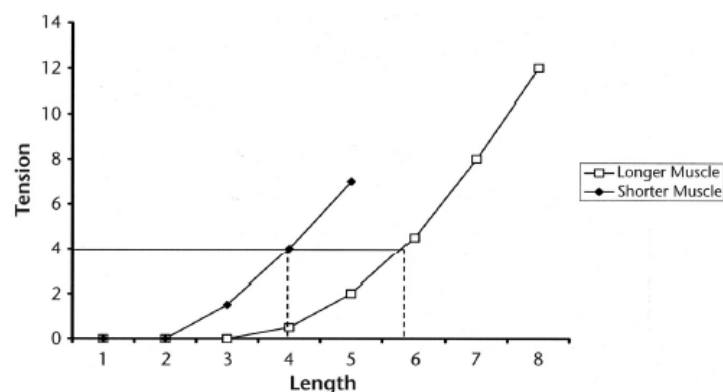


Figure 1.

Model of shifting length/tension curve. When a change in muscle length occurs, there is a shift in the entire passive length/tension curve. When "shortening" occurs, the curve shifts to the left, reflecting shorter muscle length measurements at a given passive tensile force. When lengthening occurs, the curve shifts to the right, reflecting a longer muscle length measurement at a given passive tensile force. Note: Number values are absolute; curve is a theoretical illustration.

2. TABLAS

Tabla 1. Cuadro resumen de los tipos de fibras musculares en función de sus características microscópicas, metabólicas y funcionales³.

Tabla 1-1. Resumen de las características diferenciales de los tres tipos básicos de fibras musculoesqueléticas			
	Fibras de tipo I	Fibras de tipo IIA	Fibras de tipo IIB
Características microscópicas	Menor tamaño Elevada dotación mitocondrial Mayor grosor de la línea Z Menor desarrollo del retículo sarcoplasmático Mayor número de células satélite Gran número de capilares	Similares a las de tipo I	Mayor tamaño Baja dotación mitocondrial Menor grosor de la línea Z Mayor desarrollo del retículo sarcoplasmático Menor número de células satélite Bajo número de capilares
Características metabólicas	Riqueza en enzimas oxidativas Escaso glucógeno Baja actividad fosforilasa Moderado contenido en lípidos	Similares a las de tipo IIB	Pobre en enzimas oxidativas Alto contenido en glucógeno Alta actividad fosforilasa Escaso contenido en lípidos
Características funcionales	Contracción lenta Baja susceptibilidad a la fatiga	Contracción rápida Baja susceptibilidad a la fatiga (intermedias)	Contracción rápida Alta susceptibilidad a la fatiga

Tabla 2. Clasificaciones de las lesiones musculares según criterios histopatológicos como criterios de imagen¹⁵.

Table 1 Overview of previous muscle injury classification systems				
	O'Donoghue 1962	Ryan 1969 (<i>initially for quadriceps</i>)	Takebayashi 1995, Peetrans 2002 (<i>Ultrasound-based</i>)	Stoller 2007 (<i>MRI-based</i>)
Grade I	No appreciable tissue tearing, no loss of function or strength, only a low-grade inflammatory response	Tear of a few muscle fibres, fascia remaining intact	No abnormalities or diffuse bleeding with/without focal fibre rupture less than 5% of the muscle involved	MRI-negative=0% structural damage. Hyperintense oedema with or without hemorrhage
Grade II	Tissue damage, strength of the musculotendinous unit reduced, some residual function	Tear of a moderate number of fibres, fascia remaining intact	Partial rupture: focal fibre rupture more than 5% of the muscle involved with/without fascial injury	MRI-positive with tearing up to 50% of the muscle fibres. Possible hyperintense focal defect and partial retraction of muscle fibres
Grade III	Complete tear of musculotendinous unit, complete loss of function	Tear of many fibres with partial tearing of the fascia	Complete muscle rupture with retraction, fascial injury	Muscle rupture=100% structural damage. Complete tearing with or without muscle retraction
Grade IV	X	Complete tear of the muscle and fascia of the muscle-tendon unit	X	X

Tabla 3. Clasificación de la lesión muscular basada en la zona anatómica afectada³.

Tabla 4-3. Clasificación de la lesión muscular en función de la zona muscular afectada*	
Componente tendoperióstico	Avulsión Desinserción
Componente musculotendinoso (o musculoaponeurótico)	Expansión aponeurótica periférica: <i>lesión musculotendinosa</i>
	Aponeurosis central: <i>lesión del tendón o aponeurosis central</i>
Componente miofascial	<i>Lesión miofascial</i>

* A pesar de las diferencias histológicas, a efectos de clasificación de lesión muscular, los conceptos tendón y aponeurosis son superponibles.

Tabla 4. Clasificación de las lesiones musculares: *The Munich consensus statement*¹⁵.

Table 2 Classification of acute muscle disorders and injuries			
A. Indirect muscle disorder/injury	Functional muscle disorder	Type 1: Overexertion-related muscle disorder	Type 1A: Fatigue-induced muscle disorder
		Type 2: Neuromuscular muscle disorder	Type 1B: Delayed-onset muscle soreness (DOMS)
	Structural muscle injury	Type 3: Partial muscle tear	Type 2A: Spine-related neuromuscular Muscle disorder
		Type 4: (Sub)total tear	Type 2B: Muscle-related neuromuscular Muscle disorder
B. Direct muscle injury			Type 3A: Minor partial muscle tear
			Type 3B: Moderate partial muscle tear
			Subtotal or complete muscle tear
			Tendinous avulsion
		Contusion	
		Laceration	

Tabla 5. Descripción de la clasificación de las lesiones musculares: *The Munich consensus statement*¹⁵.

Type	Classification	Definition	Symptoms	Clinical signs	Location	Ultrasound/MRI
1A	Fatigue-induced muscle disorder	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone (muscle firmness) due to overexertion, change of playing surface or change in training patterns	Aching muscle firmness. Increasing with continued activity. Can provoke pain at rest. During or after activity	Dull, diffuse, tolerable pain in involved muscles, circumscribed increase of tone. Athlete reports of 'muscle tightness'	Focal involvement up to entire length of muscle	Negative
1B	Delayed-onset muscle soreness (DOMS)	More generalised muscle pain following unaccustomed, eccentric deceleration movements.	Acute inflammatory pain. Pain at rest. Hours after activity	Oedematous swelling, stiff muscles. Limited range of motion of adjacent joints. Pain on isometric contraction. Therapeutic stretching leads to relief	Mostly entire muscle or muscle group	Negative or oedema only
2A	Spine-related neuromuscular muscle disorder	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone (muscle firmness) due to functional or structural spinal/lumbopelvic disorder.	Aching muscle firmness. Increasing with continued activity. No pain at rest	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone. Discrete oedema between muscle and fascia. Occasional skin sensitivity, defensive reaction on muscle stretching. Pressure pain	Muscle bundle or larger muscle group along entire length of muscle	Negative or oedema only
2B	Muscle-related neuromuscular muscle disorder	Circumscribed (spindle-shaped) area of increased muscle tone (muscle firmness). May result from dysfunctional neuromuscular control such as reciprocal inhibition	Aching, gradually increasing muscle firmness and tension. Cramp-like pain	Circumscribed (spindle-shaped) area of increased muscle tone, oedematous swelling. Therapeutic stretching leads to relief. Pressure pain	Mostly along the entire length of the muscle belly	Negative or oedema only
3A	Minor partial muscle tear	Tear with a maximum diameter of less than muscle fascicle/bundle.	Sharp, needle-like or stabbing pain at time of injury. Athlete often experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain	Well-defined localised pain. Probably palpable defect in fibre structure within a firm muscle band. Stretch-induced pain aggravation	Primarily muscle–tendon junction	Positive for fibre disruption on high resolution MRI*. Intramuscular haematoma
3B	Moderate partial muscle tear	Tear with a diameter of greater than a fascicle/bundle	Stabbing, sharp pain, often noticeable tearing at time of injury. Athlete often experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain. Possible fall of athlete	Well-defined localised pain. Palpable defect in muscle structure, often haematoma, fascial injury Stretch-induced pain aggravation	Primarily muscle–tendon junction	Positive for significant fibre disruption, probably including some retraction. With fascial injury and intermuscular haematoma
4	(Sub)total muscle tear/tendinous avulsion	Tear involving the subtotal/complete muscle diameter/tendinous injury involving the bone–tendon junction	Dull pain at time of injury. Noticeable tearing. Athlete experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain. Often fall	Large defect in muscle, haematoma, palpable gap, haematoma, muscle retraction, pain with movement, loss of function, haematoma	Primarily muscle–tendon junction or Bone–tendon junction	Subtotal/complete discontinuity of muscle/tendon. Possible wavy tendon morphology and retraction. With fascial injury and intermuscular haematoma
Contusion	Direct injury	Direct muscle trauma, caused by blunt external force. Leading to diffuse or circumscribed haematoma within the muscle causing pain and loss of motion	Dull pain at time of injury, possibly increasing due to increasing haematoma. Athlete often reports definite external mechanism	Dull, diffuse pain, haematoma, pain on movement, swelling, decreased range of motion, tenderness to palpation depending on the severity of impact. Athlete may be able to continue sport activity rather than in indirect structural injury	Any muscle, mostly vastus intermedius and rectus femoris	Diffuse or circumscribed haematoma in varying dimensions

**Recommendations for (high-resolution) MRI: high field strength (minimum 1.5 or 3 T), high spatial resolution (use of surface coils), limited field of view (according to clinical examination/ultrasound), use of skin marker at centre of injury location and multiplanar slice orientation.*

Tabla 6. Estrategias de búsqueda electrónicas.

<u>Buscador</u>	<u>Estrategia de búsqueda</u>
<u>Medline</u>	Mediante la utilización de los <i>Medical Subject Headings</i> (MeSH) <i>Terms</i> : "Exercise"[Majr], "Muscle Stretching Exercises"[Majr], "Muscle, Skeletal"[Mesh], "Muscular Diseases/prevention and control"[Mesh], "Sprains and Strains/prevention and control"[Mesh], "Warm-Up Exercise"[Majr], "Cool-Down Exercise"[Majr]
<u>CINAHL Plus</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. exercise or physical activity 2. stretching 3. injury prevention 4. prevention 5. muscle injury 6. muscle 7. muscle strain 8. warmup or warm-up or warm up or cooldown or cool-down or cool down 9. recovery 10. (1995-2014) 11. S1 and S2 and S3 and S6 or S7 and S8 and S9 and S10 12. S2 and S4 and S5 and S10 13. S2 and S3 and S6 and S10
<u>SPORTDiscus</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. exercise or physical activity 2. stretching 3. injury prevention 4. prevention 5. muscle injury 6. muscle 7. muscle strain 8. warmup or warm-up or warm up or cooldown or cool-down or cool down 9. recovery 10. (1995-2014) 11. S1 and S2 and S3 and S6 or S7 and S8 and S9 and S10 12. S2 and S4 and S5 and S10

	13. S2 and S3 and S6 and S10
<u>Scopus</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. "exercise" or "physical activity" 2. "stretch*" 3. "skeletal muscle" 4. "muscle" 5. "prevention" 6. "performance" 7. "injury" 8. "injury prevention" 9. "strain" 10. "delayed onset muscle soreness" 11. "eccentric" 12. "warm-up" 13. "recover" 14. "cool-down" or "warm-down" 15. (1995-2014) 16. S1 and S2 and S3 or S4 and S5 not S6 and S7 or S9 or S10 or S11 and S12 or S13 or S14 and S15 17. S2 and S8 and S4 18. S1 and S2 and S7 and S5 and S3
<u>PEDro</u>	<p>La primera búsqueda con las siguientes palabras con "OR" y la segunda con "AND".</p> <p>Stretch*, prevent*, injur*</p>

Tabla 7. Criterios de inclusión y de exclusión.

<u>Inclusión</u>	<u>Exclusión</u>
<u>Población:</u>	
- Humanos.	- Animales.
- Cualquier tipo de población.	
<u>Estructura:</u>	
- Músculo (músculo-esquelético).	- No muscular (o músculoesquelético).
<u>Intervención:</u>	
- Estiramientos (realizados antes y/o después).	- Entrenamiento de la flexibilidad (en período de tiempo diferente al previo y/o posterior al ejercicio).
- Actividad física, ejercicio físico, deporte.	- Optimización del rendimiento.
- Prevención de lesiones.	
<u>Variables:</u>	
- Relacionado con incidencia y/o riesgo de lesión muscular, dolor muscular ("muscle soreness" o "DOMS"), concentración de creatina quinasa en plasma.	
<u>Tipo de estudios:</u>	
- Estudio controlado aleatorizado, estudio controlado, estudio controlado cruzado, estudio no controlado, estudio prospectivo, estudio retrospectivo, estudio de cohortes.	- Revisiones sistemáticas, meta-análisis, artículos de opinión, estudio de un único caso.
- Posteriores al año 1995 (incluido)	- Anteriores al año 1995
- Inglés, francés, español, catalán.	- Otros idiomas.

Tabla 8. Evaluación metodológica cualitativa de los artículos.

Estudio	Cuestiones																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	%
<u>Amako M, et al. (2003)³²</u>	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0		52
<u>Arnason A, et al. (2008)⁶⁰</u>	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1		74
<u>Cross KM, Worrell TW (1999)⁶¹</u>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0		59
<u>Dadebo B, et al. (2004)⁶²</u>	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1		67
<u>Dawson B, et al. (2005)⁶³</u>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0		67
<u>Hadala M, Barrios C (2009)⁶⁴</u>	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1		63
<u>Jamtvedt G, et al. (2010)⁶⁵</u>	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1		85
<u>Johansson PH, et al. (1999)⁶⁶</u>	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1		67
<u>Lund H, et al. (1998)⁶⁷</u>	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1		63
<u>Pope RP, el al. (2000)⁶⁸</u>	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1		85
<u>Torres R, et al. (2013)⁶⁹</u>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1		78
<u>Verrall GM, et al. (2005)⁷⁰</u>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1		78

Tabla 9. Tabla resumen de los resultados obtenidos.

<u>Estudio</u>	<u>Objetivo</u>	<u>Diseño</u>	<u>Participantes (n)</u>	<u>Intervención</u>	<u>Variables de interés</u>	<u>Metodología</u>	<u>Resultados</u>
<u>Amako M. et al. (2003)</u> ³²	Evaluar la efectividad del estiramiento estático en la prevención de lesiones	Estudio prospectivo (1996-1998)	901 militares sanos de las Fuerzas Armadas de Japón	Estiramientos previos y posteriores Estiramientos estáticos antes y después de cada entrenamiento físico (supervisados) de 30s de duración. La rutina de estiramientos consiste en 18 ejercicios: 4 EESS, 7 EEII, 7 tronco y se completa en 20 min	Porcentaje de lesiones musculares respecto al total de lesiones	GE (n=518): estiramientos GC (n=383): estiramientos dinámicos previos al entrenamiento físico de 5-10 min de duración	La incidencia de LM es de 1.1% del total, teniendo lugar 3 lesiones en el GI de EEII (0.6%) y 8 lesiones en el GC (5 de EEII y 3 EESS; 2.4%). La diferencia es significativa entre ambos grupos (p<0.05)

<p><u>Arnason A, et al. (2008)</u>⁶⁰</p>	<p>Identificar los efectos del entrenamiento de fuerza excéntrica y de flexibilidad con el riesgo de una lesión muscular de los isquiotibiales (IT) en futbolistas de élite</p>	<p>Estudio prospectivo (1999-2002)</p>	<p>Jugadores de fútbol de Islandia y Noruega. El número de jugadores varía entre 18 y 24 por equipo y el número de equipos varía según la temporada</p>	<p>Estiramientos previos. En fase de calentamiento: auto-estiramiento de contracción-relajación de IT; 5-10 s de contracción, relajar y mantener la posición de estiramiento 20 s, tres repeticiones bilateral</p>	<p>Índice de lesiones musculares de IT (ILI) cada 1000 h de exposición</p>	<p>1999: datos de referencia e incidencia Islandia. 2000: datos de referencia e incidencia Islandia y Noruega. 2001: protocolo calentamiento, flexibilidad y fuerza en Islandia; calentamiento y flexibilidad en Noruega. 2002: calentamiento y fuerza en ambos países</p>	<p>Disminución ILI con intervención Islandia y Noruega 2002 (0.36 ± 0.14 Y 0.27 ± 0.06) respecto a Islandia 2001 (0.72 ± 0.14) y Noruega 2001 (0.44 ± 0.08). No diferencia significativa en intervención Noruega 2001 (7 de 14 equipos) respecto a los equipos que no la realizaron (0.54 ± 0.12 vs 0.35 ± 0.10; $p=0.22$)</p>
<p><u>Cross KM, Worrell TW (1999)</u>⁶¹</p>	<p>Comparar el número de lesiones musculares (LM) (indirectas) de isquiotibiales, cuádriceps, aductores de cadera y tríceps sural antes y después de la incorporación de un programa de estiramientos</p>	<p>Estudio retrospectivo (1994-1995)</p>	<p>195 jugadores de fútbol Americano de la Division III universitaria (EUA)</p>	<p>Estiramientos previos Estiramientos estáticos en bipedestación de IT, cuádriceps, aductores de cadera y tríceps sural, mantener la posición 15 segundos. 3 repeticiones bilateral</p>	<p>Porcentaje de lesiones musculares respecto al total de lesiones</p>	<p>1994: rutina de entrenamiento con estiramientos EEES y EEII, trabajo de agilidad, cardiovascular y de acondicionamiento. 1995: misma rutina de entrenamiento con incorporación de programa de estiramientos inmediatamente antes del entrenamiento de acondicionamiento</p>	<p>Reducción significativa en un 48.8% ($p<0.05$) en el registro de lesiones musculares de EEII del año 1995 (21 LM de 153) respecto al 1994 (43 LM de 155)</p>

<p><u>Dadebo B.</u> <u>et al.</u> <u>(2004)</u>⁶²</p>	<p>Investigar la relación actual entre los protocolos de entrenamiento de la flexibilidad (incluidos los estiramientos) y la ILI</p>	<p>Estudio prospectivo de cohorte (1998-1999)</p>	<p>30 equipos profesionales de las cuatro divisiones del fútbol inglés (1998-1999) Aprox. n=800</p>	<p>Estiramientos previos. Protocolo estándar de estiramientos (SSP): estiramientos estáticos o PNF con una duración del estiramiento estático de 15-30 s</p>	<p>Ratios de LM totales y del IT cada 1000 h</p>	<p>Cuestionario auto-administrado: componentes del <i>staff</i> técnico, cuestiones sobre la temporada futbolística, procedimientos de entrenamiento, procedimientos de calentamiento y de vuelta a la calma, procedimientos de flexibilidad e información sobre las lesiones</p>	<p>Se registran 479 LM (33%) de las cuales son 58 son del IT. El estiramiento estático es la modalidad de estiramiento utilizada con más frecuencia, respecto a las técnicas de PNF y balísticas. La aplicación del protocolo SSP se correlaciona con una menor incidencia de lesiones musculares del isquiotibial (p=0.01)</p>
---	--	---	---	---	--	---	---

<p><u>Dawson B.</u> <u>et al.</u> <u>(2005)</u>⁶³</p>	<p>Investigar si los procedimientos de recuperación inmediatos post-partido pueden mejorar los ratios de dolor muscular, fuerza y flexibilidad en las primeras 48h después de un partido</p>	<p>Ensayo controlado aleatorizado y cruzado</p>	<p>17 jugadores de un equipo de la Segunda División de fútbol Australiano</p>	<p>Estiramientos posteriores</p> <p>Estiramientos estáticos asistidos de distintos grupos musculares, realizados en 2-3 ocasiones con una duración de 30 s por estiramiento</p>	<p>Dolor muscular (Escala de Likert 1-7)</p>	<p>Cuatro modalidades de recuperación post-partido: estiramientos, caminar en el agua (piscina), baños de contraste y un grupo control (no recuperación, sólo alimentaria). Los jugadores actúan como su propio control. Cada intervención se realiza 3 veces. Se pasa un cuestionario a los jugadores para valorar subjetivamente las diferentes modalidades</p>	<p>El dolor muscular es significativamente mayor ($p<0.01$) a las 15h y 48h post-partido respecto a los datos de referencia (45h pre-partido) en todas las condiciones y a las 15h post-partido se obtienen los valores más elevados (4.4-5.2). A las 48h post-partido se observa una ligera mejoría pero no significativa. Los datos subjetivos del cuestionario indican que los estiramientos son la tercera modalidad más efectiva y la segunda más preferida por los jugadores</p>
---	--	---	---	---	--	---	--

<p><u>Hadala M.</u> <u>Barrios C</u> <u>(2009)⁶⁴</u></p>	<p>Analizar la efectividad de diferentes estrategias de fisioterapia para prevenir y reducir el número de lesiones deportivas durante los periodos de competiciones de la America's Cup de vela</p>	<p>Estudio prospectivo (2004-2007)</p>	<p>30 navegantes profesionales</p>	<p>Estiramientos previos y posteriores</p> <p>Previos: Estiramientos activos y de PNF de los flexores, extensores y rotadores de tronco así como de las EESS y EEII, en diferentes posiciones (decúbito supino, prono, lateral, bipedestación, de rodillas, sedestación sobre una pelota Suiza). Duración de 20-30 s con una o dos repeticiones y una duración total de 30 min.</p> <p>Posteriores: PNF (entre 5-8 min de duración total) de los músculos IT, piriforme, glúteos (mayor, medio y menor), psoas-ilíaco, cuádriceps, dorsal ancho, redondo menor, trapecios, romboides y flexores y extensores de antebrazo</p>	<p>Porcentaje de lesiones musculares respecto al total de lesiones</p>	<p>2004: pre-intervención (días competición). 2005: fase 1 intervención (9 d). Estiramientos antes de las regatas y vendaje preventivo. 2006: fase 2 intervención (18 d). Fase 1 + movilizaciones articulares antes de la competición, baños de crioterapia después de la competición y kinesiotaping. 2007: fase 3 intervención (20 d). Fase 1 + fase 2 + ejercicios de "core", estiramientos y 12h de ropa compresiva</p>	<p>La incidencia de LM disminuye durante el estudio (en 2004, 22 LM (61%) y en 2007, 5 LM (14%). En los "grinders" (n=7), las LM se reducen al 20% del total en 2007 (1 única lesión muscular vs 2004 11 LM, vs 2005 1 LM vs 2006 3 LM)</p>
--	---	--	------------------------------------	---	--	---	---

<p><u>Jamtvedt</u> <u>G, et al.</u> <u>(2010)</u>⁶⁵</p>	<p>Determinar los efectos de los estiramientos antes y después de la actividad física respecto al riesgo de lesión y de dolor muscular en una población activa</p>	<p>Estudio pragmático aleatorizado basado en Internet (2008-2009)</p>	<p>2377 adultos (población activa)</p>	<p>Estiramientos previos y posteriores</p> <p>Estiramientos estáticos de 30 s de gastrocnemios, aductores, flexores y rotadores externos de cadera, isquiotibiales, recto femoral y rotadores de tronco. Seguimiento de 12 semanas</p>	<p>Incidencia de lesión y/o dolor muscular (EVA 0-10) de EEII o tronco y secundariamente nº de lesiones musculares, ligamentosas y tendinosas relacionadas con el ejercicio físico</p>	<p>GE (n=1220): estiramientos (se les pide que no realicen ningún estiramiento de cualquier otro grupo muscular). GC (n=1157): no estiramientos</p>	<p>Los estiramientos reducen el riesgo de lesión de músculos, ligamentos y tendones con un ratio de incidencia de 0.66 lesiones por persona al año en el GE y 0.88 en el GC (HR=0.75 y p=0.03) y producen pequeñas disminuciones en el riesgo de dolor muscular (p=0.03)</p>
<p><u>Johansson</u> <u>PH, et al.</u> <u>(1999)</u>⁶⁶</p>	<p>Determinar si estiramientos estáticos pre-ejercicio de los IT pueden reducir el dolor muscular, la sensibilidad muscular y la pérdida de fuerza muscular causado por ejercicio excéntrico intenso, comparado con no estirar</p>	<p>Ensayo no controlado</p>	<p>10 mujeres sanas (estudiantes)</p>	<p>Estiramientos previos</p> <p>Autoestiramientos estáticos en sedestación de la musculatura IT. 4 maniobras de 20 s con un descanso entre éstas de 20 s</p>	<p>Dolor muscular (EVA 0-100mm) a las 24,48 y 96 h</p>	<p>Una extremidad inferior (EI) sirve de intervención y contralateral de control. Calentamiento en cicloergómetro (5 min), seguido de estiramientos. Al terminar, 10 series de 10 contracciones excéntricas isocinéticas de los IT (bilateral)</p>	<p>Pico de dolor muscular a las 48h post-ejercicio en ambas extremidades: 71±17 extremidad de estiramiento y 69±16 extremidad de control. No existen diferencias significativas entre las extremidades (p=0.986)</p>

<p><u>Lund H, et al. (1998)</u>⁶⁷</p>	<p>Evaluar si el estiramiento pasivo tiene influencia sobre el DOMS, la fuerza muscular máxima, la concentración de creatina quinasa en plasma (CQP) y el ratio de fosfocreatina/fosfato inorgánico (PCr/Pi) después de realizar ejercicio excéntrico</p>	<p>Ensayo no controlado</p>	<p>7 mujeres sanas no entrenadas</p>	<p>Estiramientos previos y posteriores</p> <p>Estiramientos pasivos asistidos en decúbito prono, con una duración de 30 s y tres repeticiones con un descanso de 30-50 s</p>	<p>Dolor muscular (EVA 1-10cm) y la CQP. Se miden antes del ejercicio excéntrico (día 0) y en los siguientes 7 días. Se obtienen datos de ambas EEII</p>	<p>Experimento 1: ejercicio excéntrico isocinético de cuádriceps de EEII derecha hasta el extenuación (60% peak torque excéntrico)</p> <p>Experimento 2 (13-23 meses después): combinación de ejercicio excéntrico con estiramientos pasivos</p>	<p>Pico de dolor muscular a las 48h post-ejercicio excéntrico y persiste en el día 3 en ambos grupos (no diferencias significativas). La concentración de CQP posterior al ejercicio excéntrico incrementa de manera significativa en ambos experimentos ($p<0.05$) pero no existen diferencias significativas entre ambos ($p=0.48$)</p>
<p><u>Pope RP, et al. (2000)</u>⁶⁸</p>	<p>Investigar el efecto del estiramiento muscular durante el calentamiento con el riesgo de sufrir una lesión relacionada con el ejercicio</p>	<p>Estudio controlado aleatorizado</p>	<p>1538 militares de la armada de Australia</p>	<p>Estiramientos previos.</p> <p>Estiramientos autoasistidos (20 segundos de duración por estiramiento) de gastrocnemios, sóleo, isquiotibiales, cuádriceps, aductores de cadera y flexores de cadera de ambas extremidades</p>	<p>Porcentaje de LM respecto al total. Seguimiento de 12 semanas</p>	<p>GE (n=735): estiramientos combinados con "jogging" y pasos laterales.</p> <p>GC (n=803): "jogging" y pasos laterales</p>	<p>Se registran 14 lesiones musculares en GI por 21 del GC. HR lesiones musculares: 0.67</p>

<p><u>Torres R.</u> <u>et al.</u> <u>(2013)</u>⁶⁹</p>	<p>Comparar el efecto del estiramiento pasivo realizado una única vez o de manera repetida, aplicado posteriormente al ejercicio excéntrico, con marcadores indirectos del daño muscular inducido por el ejercicio</p>	<p>Estudio controlado aleatorizado</p>	<p>56 hombres no entrenados</p>	<p>Estiramientos posteriores.</p> <p>Estiramientos pasivos asistidos de cuádriceps de la extremidad dominante (10 estiramientos de 30s con un descanso de 10s entre estiramientos)</p>	<p>Dolor muscular (EVA) y actividad de creatina quinasa en plasma (CQP). Posterior al ejercicio y a las 24, 48 y 72h post-ejercicio</p>	<p>GI (SSG): una única serie de estiramientos; GII (ECCG): ejercicio excéntrico; GIII (ECC+SSG): ejercicio excéntrico seguido de una única serie de estiramientos; GIV (ECC+RSG): ejercicio excéntrico seguido de estiramientos realizados justamente posterior al ejercicio y a las 24, 48 y 72h post-ejercicio. Ejercicio excéntrico isocinético de cuádriceps dominante al 60% del <i>peak torque</i> máximo concéntrico (PTMC)</p>	<p>Incremento significativo ($p<0.05$) en todos los grupos del dolor muscular hasta las 72h y en el aumento de la actividad de creatina quinasa en plasma hasta las 96h</p>
---	--	--	---------------------------------	--	---	--	---

<p><u>Verrall</u> <u>GM, et al.</u> <u>(2005)</u>⁷⁰</p>	<p>Evaluar el efecto de un programa específico en la incidencia y consecuencia de las lesiones musculares de los IT</p>	<p>Estudio prospectivo (cuatro años)</p>	<p>Equipo profesional de fútbol Australiano (N=70)</p>	<p>Estiramientos durante y posterior. Estiramientos estáticos-activos de 15 s (una sola repetición)</p>	<p>Número de atletas lesionados del IT y el número de partidos ausentados a causa de ello, la incidencia lesional por partido (cada 1000h) y por entrenamiento (cada 1000 semanas)</p>	<p>Año 1 y 2: marco de referencia, no existe ningún control ni instrucción. Año 3 y 4: programa de intervención: entrenamiento anaeróbico interválico de alta intensidad, estiramientos en estado de fatiga muscular y ejercicios específicos del deporte</p>	<p>Reducción significativa ($p<0.045$) del número de atletas lesionados (IT) y disminución significativa ($p<0.001$) de los días de competición perdidos en las dos temporadas de intervención. Reducción significativa ($p=0.012$) de la incidencia de lesiones en los partidos (1.3 vs 4.7 por cada 1000h de partido)</p>
---	---	--	--	--	--	---	--

Tabla 10. Tabla resumen con los resultados de interés del estudio⁶².

<u>Variables</u>	Premiership (n=8)	Division 1 (n=10)	Division 2 (n=6)	Division 3 (n=6)
<u>Carga de flexibilidad (%)</u>	37.6	47.5	32.8	38.6
<u>Duración media del estiramiento (s)</u>	30	20	20	15
<u>Índice de lesiones musculares / 1000 h</u>	36.8	29.3	26.5	42.7
<u>Índice de lesiones musculares del IT / 1000 h</u>	13.3	9.3	7.8	10.1
<u>Utilización SSP (equipos)</u>	6	9	4	4
<u>Proporción técnica de estiramiento (estático:balístico:PNF)</u>	5:1:1	6:1:2	4:1:1	8:1:1

Tabla 11. Prescripción de estiramientos indicados previamente al ejercicio.

	<u>Tipo estiramiento</u>	<u>Estructura mecánica</u>	<u>Estructura sensitiva</u>	<u>Duración</u>	<u>Otros</u>
<u>ACCIONES CON ALTA PARTICIPACIÓN DEL COMPONENTE CEA</u>	<u>Tensión activa (excéntrica)</u>	UMT	HNМ: activación reflejo miotático	4-6 s	≤ 6 s para evitar riesgo de isquemia vascular arterial
	<u>Balístico</u>	Estructuras elásticas, UMT, tendón	HNМ: activación reflejo miotático	Corto y breve	Gesto técnico
	<u>Estático</u>	Sarcómero y tejido	Aumento	6-10 s	Aumento temperatura muscular, flujo sanguíneo local,
	<u>tensión pasiva (dinámico)</u>	conectivo. Mejora del trabajo muscular	velocidad de transmisión nerviosa		mejora coordinación agonista-antagonista
<u>ACCIONES SIN O CON BAJA PARTICIPACIÓN DEL COMPONENTE CEA</u>	<u>Balístico</u>	Estructuras elásticas, UMT, tendón	HNМ: activación reflejo miotático	Corto y breve	Gesto técnico
	<u>Estático</u>	Sarcómero y tejido	Aumento	6-10 s	Aumento temperatura muscular, flujo sanguíneo local,
	<u>tensión pasiva (dinámico)</u>	conectivo. Mejora del trabajo muscular	velocidad de transmisión nerviosa		mejora coordinación agonista-antagonista
	<u>PNF</u>	Sarcómero y tejido conectivo, UMT	Activación propioceptores	Según autores	Si requiere una ganancia de ADM

HNМ: huso neuromuscular; OTG: órgano tendinoso de Golgi; UMT: unión miotendinosa; PNF: Facilitación Neuromuscular Propioceptiva.

Tabla 12. Prescripción de estiramientos indicados posteriormente al ejercicio.

<u>Tipo estiramiento</u>	<u>Estructura mecánica</u>	<u>Estructura sensitiva</u>	<u>Duración</u>	<u>Otros</u>
<u>Estático tensión pasiva</u>	Sarcómero y tejido conectivo	HNM: reflejo inhibición recíproca	6-10 s	Aumento flujo sanguíneo
<u>Estático pasivo</u>	Sarcómero y tejido conectivo	OTG: inhibición autógena	30-45 s	Normalizar tono y rigidez
<u>PNF</u>	Disminución viscoelasticidad	Inhibición HNM y OTG	Según autores	Normalizar tono

HNM: huso neuromuscular; OTG: órgano tendinoso de Golgi; UMT: unión miotendinosa; PNF: Facilitación Neuromuscular Propioceptiva.